

BEST AVAILABLE COPY

PCT

## NOTIFICATION OF ELECTION

(PCT Rule 61.2)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

Commissioner  
US Department of Commerce  
United States Patent and Trademark  
Office, PCT  
2011 South Clark Place Room  
CP2/5C24  
Arlington, VA 22202  
ETATS-UNIS D'AMERIQUE  
in its capacity as elected Office

Date of mailing (day/month/year) 30 January 2002 (30.01.02)	
International application No. PCT/JP00/08167	Applicant's or agent's file reference PC-8421
International filing date (day/month/year) 20 November 2000 (20.11.00)	Priority date (day/month/year) 31 May 2000 (31.05.00)
Applicant TAKAHASHI, Migaku et al	

1. The designated Office is hereby notified of its election made:

☒ in the demand filed with the International Preliminary Examining Authority on:  
08 November 2001 (08.11.01)

☐ in a notice effecting later election filed with the International Bureau on:

2. The election ☒ was  
☐ was not

made before the expiration of 19 months from the priority date or, where Rule 32 applies, within the time limit under Rule 32.2(b).

The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland Facsimile No.: (41-22) 740.14.35	Authorized officer Henrik NYBERG Telephone No.: (41-22) 338.83.38
---	---

# 特許協力条約に基づく国際出願

## 願 書

出願人は、この国際出願が特許協力条約に従って処理されることを請求する。

受理官庁記入欄

国際出願番号

国際出願日

(受付印)

PCT  
20.11.00  
受領印

出願人又は代理人の書類記号  
(希望する場合、最大1,2字)

PC-8421

### 第 I 欄 発明の名称

磁性薄膜、その製造方法、その評価方法及びこれを用いた磁気ヘッド、磁気記録装置並びに磁気デバイス

### 第 II 欄 出願人

氏名(名称)及びあて名: (姓・名の順に記載; 法人は公式の完全な名称を記載; あて名は郵便番号及び国名も記載)

高橋 研

TAKAHASHI Migaku

〒982-0222 日本国宮城県仙台市太白区人來田2丁目20-2

20-2, Hitokita 2-chome, Taihaku-ku, Sendai-shi, Miyagi 982-0222 Japan

☒ この欄に記載した者は、  
発明者でもある。

電話番号:

ファクシミリ番号:

加入電話番号:

国籍(国名): 日本国 JAPAN

住所(国名): 日本国 JAPAN

この欄に記載した者は、次の

指定国についての出願人である:



すべての指定国



米国を除くすべての指定国



米国のみ



追記欄に記載した指定国

### 第 III 欄 その他の出願人又は発明者

氏名(名称)及びあて名: (姓・名の順に記載; 法人は公式の完全な名称を記載; あて名は郵便番号及び国名も記載)

ジャヤプラウィラ ダビッド

DJAYAPRAWIRA David

〒980-0806 日本国宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉05 東北大学大学院  
工学研究科電子工学専攻内

c/o TOHOKU UNIVERSITY, Faculty of Engineering, Department of  
Electronics, 05, Aza-Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai-shi, Miyagi  
980-0806 Japan

この欄に記載した者は  
次に該当する:

☐ 出願人のみである。

☒ 出願人及び発明者である。

☐ 発明者のみである。  
(ここにレ印を付したとき  
は、以下に記入しないこと)

国籍(国名): インドネシア INDONESIA

住所(国名): 日本国 JAPAN

この欄に記載した者は、次の

指定国についての出願人である:



すべての指定国



米国を除くすべての指定国



米国のみ



追記欄に記載した指定国

☒ その他の出願人又は発明者が続葉に記載されている。

### 第 IV 欄 代理人又は共通の代表者、通知のあて名

次に記載された者は、国際機関において出願人のために行動する:



代理人



共通の代表者

氏名(名称)及びあて名: (姓・名の順に記載; 法人は公式の完全な名称を記載; あて名は郵便番号及び国名も記載)

6490 弁理士 志賀 正武 SHIGA Masatake

8903 弁理士 渡邊 隆 WATANABE Takashi

〒169-8925 日本国東京都新宿区高田馬場三丁目23番3号 ORビル

OR Bldg., 23-3, Takadanobaba 3-chome, Shinjuku-ku, Tokyo 169-8925 Japan

電話番号:

03-5330-6011

ファクシミリ番号:

03-5330-6061

加入電話番号:

☐ 通知のためのあて名: 代理人又は共通の代表者が選任されておらず、上記枠内に特に通知が送付されるあて名を記載している場合は、レ印を付す。

## 第Ⅲ欄の続き その他の出願人又は発明者

この続表を使用しないときは、この用紙を願書に含めないこと。

氏名(名称)及びあて名:(姓・名の順に記載;法人は公式の完全な名称を記載;あて名は郵便番号及び国名も記載)

荘司 弘樹

SHOJI Hiroki

〒980-0806 日本国宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉05 東北大学大学院  
工学研究科電子工学専攻内c/o TOHOKU UNIVERSITY, Faculty of Engineering, Department of  
Electronics, 05, Aza-Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai-shi, Miyagi  
980-0806 Japanこの欄に記載した者は、  
次に該当する:☐ 出願人のみである。☒ 出願人及び発明者である。☐ 発明者のみである。  
(ここにレ印を付したとき  
は、以下に記入しないこと)

国籍(国名): 日本国 JAPAN

住所(国名): 日本国 JAPAN

この欄に記載した者は、次の

指定国についての出願人である:

☐ すべての指定国☐ 米国を除くすべての指定国☒ 米国のみ☐ 追記欄に記載した指定国

氏名(名称)及びあて名:(姓・名の順に記載;法人は公式の完全な名称を記載;あて名は郵便番号及び国名も記載)

この欄に記載した者は、  
次に該当する:☐ 出願人のみである。☐ 出願人及び発明者である。☐ 発明者のみである。  
(ここにレ印を付したとき  
は、以下に記入しないこと)

国籍(国名):

住所(国名):

この欄に記載した者は、次の

指定国についての出願人である:

☐ すべての指定国☐ 米国を除くすべての指定国☐ 米国のみ☐ 追記欄に記載した指定国

氏名(名称)及びあて名:(姓・名の順に記載;法人は公式の完全な名称を記載;あて名は郵便番号及び国名も記載)

この欄に記載した者は、  
次に該当する:☐ 出願人のみである。☐ 出願人及び発明者である。☐ 発明者のみである。  
(ここにレ印を付したとき  
は、以下に記入しないこと)

国籍(国名):

住所(国名):

この欄に記載した者は、次の

指定国についての出願人である:

☐ すべての指定国☐ 米国を除くすべての指定国☐ 米国のみ☐ 追記欄に記載した指定国

氏名(名称)及びあて名:(姓・名の順に記載;法人は公式の完全な名称を記載;あて名は郵便番号及び国名も記載)

この欄に記載した者は、  
次に該当する:☐ 出願人のみである。☐ 出願人及び発明者である。☐ 発明者のみである。  
(ここにレ印を付したとき  
は、以下に記入しないこと)

国籍(国名):

住所(国名):

この欄に記載した者は、次の

指定国についての出願人である:

☐ すべての指定国☐ 米国を除くすべての指定国☐ 米国のみ☐ 追記欄に記載した指定国☐ その他の出願人又は発明者が他の続表に記載されている。

## 第V欄 国の指定

規則4.9(a)の規定に基づき次の指定を行う(該当する□にレ印を付すこと:少なくとも1つの□にレ印を付すこと)。

## 広域特許

- ☒ **AP** **ARIPO**特許: **GH**ガーナ Ghana, **GM**ガンビア Gambia, **KE**ケニア Kenya, **LS**レント Lesotho, **MW**マラウイ Malawi, **MZ**モザンビーク Mozambique, **SD**スーダン Sudan, **SL**シエラ・レオネ Sierra Leone, **SZ**スワジランド Swaziland, **TZ**タンザニア United Republic of Tanzania, **UG**ウガンダ Uganda, **ZW**ジンバブエ Zimbabwe, 及びハラレプロトコルと特許協力条約の締約国である他の国
- ☒ **EA** ユーラシア特許: **AM**アルメニア Armenia, **AZ**アゼルバイジャン Azerbaijan, **BY**ベラルーシ Belarus, **KG**キルギス Kyrgyzstan, **KZ**カザフスタン Kazakhstan, **MD**モルドヴァ Republic of Moldova, **RU**ロシア Russian Federation, **TJ**タジキスタン Tajikistan, **TM**トルクメニスタン Turkmenistan, 及びユーラシア特許条約と特許協力条約の締約国である他の国
- ☒ **EP** ユーロップ特許: **AT**オーストリア Austria, **BE**ベルギー Belgium, **CH** and **LI** スイス及びリヒテンシュタイン Switzerland and Liechtenstein, **CY**キプロス Cyprus, **DE**ドイツ Germany, **DK**デンマーク Denmark, **ES**スペイン Spain, **FI**フィンランド Finland, **FR**フランス France, **GB**英国 United Kingdom, **GR**ギリシャ Greece, **IE**アイルランド Ireland, **IT**イタリア Italy, **LU**ルクセンブルグ Luxembourg, **MC**モナコ Monaco, **NL**オランダ Netherlands, **PT**ポルトガル Portugal, **SE**スウェーデン Sweden, 及びヨーロッパ特許条約と特許協力条約の締約国である他の国
- ☒ **OA** **OAP I** 特許: **BF**ブルキナ・ファソ Burkina Faso, **BJ**ベナン Benin, **CF**中央アフリカ Central African Republic, **CG**コンゴ Congo, **CI**コートジボワール Côte d'Ivoire, **CM**カメルーン Cameroon, **GA**ガボン Gabon, **GN**ギニア Guinea, **GW**ギニア・ビサウ Guinea-Bissau, **ML**マリ Mali, **MR**モーリタニア Mauritania, **NE**ニジェール Niger, **SN**セネガル Senegal, **TD**チャード Chad, **TG**トーゴ Togo, 及びアフリカ知的所有権機構のメンバー国と特許協力条約の締約国である他の国(他の種類の保護又は取り扱いを求める場合には点線の上に記載する)

国内特許(他の種類の保護又は取り扱いを求める場合には点線の上に記載する)

- |  |   |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>AE</b> アラブ首長国連邦 United Arab Emirates                              | <input checked="" type="checkbox"/> <b>LK</b> スリ・ランカ Sri Lanka  |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>AG</b> アンティグア・バーブーダ Antigua and Barbuda                           | <input checked="" type="checkbox"/> <b>LR</b> リベリア Liberia  |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>AL</b> アルバニア Albania  | <input checked="" type="checkbox"/> <b>LS</b> レント Lesotho   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>AM</b> アルメニア Armenia  | <input checked="" type="checkbox"/> <b>LT</b> リトアニア Lithuania   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>AT</b> オーストリア Austria   | <input checked="" type="checkbox"/> <b>LU</b> ルクセンブルグ Luxembourg  |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>AU</b> オーストラリア Australia  | <input checked="" type="checkbox"/> <b>LV</b> ラトヴィア Latvia  |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>AZ</b> アゼルバイジャン Azerbaijan  | <input checked="" type="checkbox"/> <b>MA</b> モロッコ Morocco  |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>BA</b> ボスニア・ヘルツェゴヴィナ Bosnia and Herzegovina                       | <input checked="" type="checkbox"/> <b>MD</b> モルドヴァ Republic of Moldova                                   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>BB</b> バルバドス Barbados   | <input checked="" type="checkbox"/> <b>MG</b> マダガスカル Madagascar   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>BG</b> ブルガリア Bulgaria   | <input checked="" type="checkbox"/> <b>MK</b> マケドニア旧ユーゴスラヴィア共和国 The former Yugoslav Republic of Macedonia |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>BR</b> ブラジル Brazil  | <input checked="" type="checkbox"/> <b>MN</b> モンゴル Mongolia   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>BY</b> ベラルーシ Belarus  | <input checked="" type="checkbox"/> <b>MW</b> マラウイ Malawi   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>BZ</b> ベリーズ Belize  | <input checked="" type="checkbox"/> <b>MX</b> メキシコ Mexico   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>CA</b> カナダ Canada   | <input checked="" type="checkbox"/> <b>MZ</b> モザンビーク Mozambique   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>CH</b> and <b>LI</b> スイス及びリヒテンシュタイン Switzerland and Liechtenstein | <input checked="" type="checkbox"/> <b>NO</b> ノールウェー Norway   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>CN</b> 中国 China   | <input checked="" type="checkbox"/> <b>NZ</b> ニュー・ジーランド New Zealand                                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>CR</b> コスタリカ Costa Rica   | <input checked="" type="checkbox"/> <b>PL</b> ポーランド Poland  |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>CU</b> キューバ Cuba  | <input checked="" type="checkbox"/> <b>PT</b> ポルトガル Portugal  |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>CZ</b> チェコ Czech Republic   | <input checked="" type="checkbox"/> <b>RO</b> ルーマニア Romania   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>DE</b> ドイツ Germany  | <input checked="" type="checkbox"/> <b>RU</b> ロシア Russian Federation                                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>DK</b> デンマーク Denmark  | <input checked="" type="checkbox"/> <b>SD</b> スーダン Sudan  |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>DM</b> ドミニカ Dominica  | <input checked="" type="checkbox"/> <b>SE</b> スウェーデン Sweden   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>DZ</b> アルジェリア Algeria   | <input checked="" type="checkbox"/> <b>SG</b> シンガポール Singapore  |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>EE</b> エストニア Estonia  | <input checked="" type="checkbox"/> <b>SI</b> スロヴェニア Slovenia   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>ES</b> スペイン Spain   | <input checked="" type="checkbox"/> <b>SK</b> スロヴァキア Slovakia   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>FI</b> フィンランド Finland   | <input checked="" type="checkbox"/> <b>SL</b> シエラ・レオネ Sierra Leone  |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>GB</b> 英国 United Kingdom  | <input checked="" type="checkbox"/> <b>TJ</b> タジキスタン Tajikistan   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>GD</b> グレナダ Grenada   | <input checked="" type="checkbox"/> <b>TM</b> トルクメニスタン Turkmenistan                                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>GE</b> グルジア Georgia   | <input checked="" type="checkbox"/> <b>TR</b> トルコ Turkey  |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>GH</b> ガーナ Ghana  | <input checked="" type="checkbox"/> <b>TT</b> トリニダード・トバゴ Trinidad and Tobago                              |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>GM</b> ガンビア Gambia  | <input checked="" type="checkbox"/> <b>TZ</b> タンザニア United Republic of Tanzania                           |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>HR</b> クロアチア Croatia  | <input checked="" type="checkbox"/> <b>UA</b> ウクライナ Ukraine   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>HU</b> ハンガリー Hungary  | <input checked="" type="checkbox"/> <b>UG</b> ウガンダ Uganda   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>ID</b> インドネシア Indonesia   | <input checked="" type="checkbox"/> <b>US</b> 米国 United States of America                                 |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>IL</b> イスラエル Israel   | <input checked="" type="checkbox"/> <b>UZ</b> ウズベキスタン Uzbekistan  |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>IN</b> インド India  | <input checked="" type="checkbox"/> <b>VN</b> ヴィエトナム Viet Nam   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>IS</b> アイスランド Iceland   | <input checked="" type="checkbox"/> <b>YU</b> ユーゴスラヴィア Yugoslavia   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>JP</b> 日本 Japan   | <input checked="" type="checkbox"/> <b>ZA</b> 南アフリカ共和国 South Africa                                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>KE</b> ケニア Kenya  | <input checked="" type="checkbox"/> <b>ZW</b> ジンバブエ Zimbabwe  |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>KG</b> キルギス Kyrgyzstan  |   |
| <input type="checkbox"/> <b>KP</b> 北朝鮮 Democratic People's Republic of Korea                             |   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>KR</b> 韓国 Republic of Korea                                       |   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>KZ</b> カザフスタン Kazakhstan  |   |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>LC</b> セント・ルシア Saint Lucia  |   |

下の□は、この様式の施行後に特許協力条約の締約国となった国を指定するためのものである。

☐  
☐  
☐

指定の確認の宣言: 出願人は、上記の指定に加えて、規則4.9(b)の規定に基づき、特許協力条約の下で認められる他の全ての国の指定を行う。但し、この宣言から除外の表示を追記欄にした国は、指定から除かれる。出願人は、これらの追加される指定が確認を条件としていること、並びに優先日から15月が経過する前にその確認がなされない場合は、この期間の経過時に、出願人によって取り下げられたものとみなされることを宣言する。(指定の確認は、指定を特定する通知の提出と指定手数料及び確認手数料の納付からなる。この確認は、優先日から15月以内に受理官庁へ提出しなければならない。)

## 第VI欄 優先権主張

☐ 他の優先権の主張（先の出願）が追記欄に記載されている

先の出願日 (日. 月. 年)	先の出願番号	先の出願		
		国内出願 : 国名	広域出願 : *広域官庁名	国際出願 : 受理官庁名
(1) 31. 05. 00	特願2000- 163822	日本国 JAPAN		
(2) 20. 10. 00	特願2000- 321757	日本国 JAPAN		
(3)				

☒ 上記( )の番号の先の出願（ただし、本国際出願が提出される受理官庁に対して提出されたものに限る）のうち、次の( )の番号のものについては、出願書類の認証様本を作成し国際事務局へ送付することを、受理官庁（日本国特許庁の長官）に対して請求している。

(1) ~ (2)

\*先の出願が、ARIPOの特許出願である場合には、その先の出願を行った工業所有権の保護のためのパリ条約同盟国の少なくとも1ヶ国を追記欄に表示しなければならない（規則4.10(b)(ii)）。追記欄を参照。

## 第VII欄 国際調査機関の選択

国際調査機関 (ISA) の選択	先の調査結果の利用請求 ; 当該調査の照会 (先の調査が、国際調査機関によって既に実施又は請求されている場合)
ISA / J P	出願日 (日. 月. 年)      出願番号      国名 (又は広域官庁)

## 第VIII欄 照合欄 : 出願の言語

この国際出願の用紙の枚数は次のとおりである。

願書	4	枚
明細書 (配列表を除く)	47	枚
請求の範囲	4	枚
要約書	1	枚
図面	20	枚
明細書の配列表		枚
合計	76	枚

この国際出願には、以下にチェックした書類が添付されている。

- ☒ 手数料計算用紙
- ☒ 納付する手数料に相当する特許印紙を貼付した書面
- ☐ 国際事務局の口座への振込みを証明する書面
- ☒ 別個の記名押印された委任状
- ☐ 包括委任状の写し
- ☐ 記名押印 (署名) の説明書
- ☐ 優先権書類 (上記第VI欄の( )の番号を記載する)
- ☐ 国際出願の翻訳文 (翻訳に使用した言語名を記載する)
- ☐ 寄託した微生物又は他の生物材料に関する書面
- ☐ ヌクレオチド又はアミノ酸配列表 (フレキシブルディスク)
- ☐ その他 (書類名を詳細に記載する)

要約書とともに提示する図面: ☒ 2 a

本国際出願の使用言語名: 日本語

## 第IX欄 提出者の記名押印

人の氏名 (名称) を記載し、その次に押印する。

志賀 正武      渡邊 隆



1. 国際出願として提出された書類の実際の受理の日

## 受理官庁記入欄

3. 国際出願として提出された書類を補完する書類又は図面であって

その後期間内に提出されたものの実際の受理の日 (訂正日)

4. 特許協力条約第11条(2)に基づく必要な補完の期間内の受理の日

5. 出願人により特定された

国際調査機関

ISA / J P

6. ☐

調査手数料未払いにつき、国際調査機関に調査用写しを送付していない

2. 図面

☐ 受理された☐ 不足図面がある

## 国際事務局記入欄

記録原本の受理の日

9/720736 5

P C T

## 国際予備審査報告

(法第12条、法施行規則第56条)  
[PCT36条及びPCT規則70]

REC'D 23 AUG 2002

WIPO PCT

出願人又は代理人 の書類記号 PC-8421	今後の手続きについては、国際予備審査報告の送付通知(様式PCT/ IPEA/416)を参照すること。	
国際出願番号 PCT/JPO0/08167	国際出願日 (日.月.年) 20.11.00	優先日 (日.月.年) 31.05.00
国際特許分類 (IPC) Int. Cl <sup>7</sup> H01F 10/14, G11B 5/31, G11B 5/667		
出願人 (氏名又は名称) 高橋 研		

1. 国際予備審査機関が作成したこの国際予備審査報告を法施行規則第57条(PCT36条)の規定に従い送付する。

2. この国際予備審査報告は、この表紙を含めて全部で 4 ページからなる。

☐ この国際予備審査報告には、附属書類、つまり補正されて、この報告の基礎とされた及び/又はこの国際予備審査機関に対してした訂正を含む明細書、請求の範囲及び/又は図面も添付されている。

(PCT規則70.16及びPCT実施細則第607号参照)

この附属書類は、全部で ページである。

3. この国際予備審査報告は、次の内容を含む。

I ☒ 国際予備審査報告の基礎II ☐ 優先権III ☐ 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての国際予備審査報告の不作成IV ☐ 発明の単一性の欠如V ☒ PCT35条(2)に規定する新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての見解、それを裏付けるための文献及び説明VI ☐ ある種の引用文献VII ☐ 国際出願の不備VIII ☐ 国際出願に対する意見

国際予備審査の請求書を受理した日 08.11.01	国際予備審査報告を作成した日 05.08.02	
名称及びあて先 日本国特許庁 (IPEA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官(権限のある職員) 山田 正文	5 R 8835
電話番号 03-3581-1101 内線		3565

## I. 国際予備審査報告の基礎

1. この国際予備審査報告は下記の出願書類に基づいて作成された。(法第6条(PCT14条)の規定に基づく命令に  
応答するために提出された差し替え用紙は、この報告書において「出願時」とし、本報告書には添付しない。  
PCT規則70.16, 70.17)

☒ 出願時の国際出願書類

- ☐ 明細書 第 \_\_\_\_\_ ページ、 出願時に提出されたもの  
明細書 第 \_\_\_\_\_ ページ、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの  
明細書 第 \_\_\_\_\_ ページ、 \_\_\_\_\_ 付の書簡と共に提出されたもの
- ☐ 請求の範囲 第 \_\_\_\_\_ 項、 出願時に提出されたもの  
請求の範囲 第 \_\_\_\_\_ 項、 PCT19条の規定に基づき補正されたもの  
請求の範囲 第 \_\_\_\_\_ 項、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの  
請求の範囲 第 \_\_\_\_\_ 項、 \_\_\_\_\_ 付の書簡と共に提出されたもの
- ☐ 図面 第 \_\_\_\_\_ ページ/図、 出願時に提出されたもの  
図面 第 \_\_\_\_\_ ページ/図、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの  
図面 第 \_\_\_\_\_ ページ/図、 \_\_\_\_\_ 付の書簡と共に提出されたもの
- ☐ 明細書の配列表の部分 第 \_\_\_\_\_ ページ、 出願時に提出されたもの  
明細書の配列表の部分 第 \_\_\_\_\_ ページ、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの  
明細書の配列表の部分 第 \_\_\_\_\_ ページ、 \_\_\_\_\_ 付の書簡と共に提出されたもの

2. 上記の出願書類の言語は、下記に示す場合を除くほか、この国際出願の言語である。

上記の書類は、下記の言語である \_\_\_\_\_ 語である。

- ☐ 国際調査のために提出されたPCT規則23.1(b)にいう翻訳文の言語  
☐ PCT規則48.3(b)にいう国際公開の言語  
☐ 国際予備審査のために提出されたPCT規則55.2または55.3にいう翻訳文の言語
3. この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでおり、次の配列表に基づき国際予備審査報告を行った。

- ☐ この国際出願に含まれる書面による配列表  
☐ この国際出願と共に提出された磁気ディスクによる配列表  
☐ 出願後に、この国際予備審査(または調査)機関に提出された書面による配列表  
☐ 出願後に、この国際予備審査(または調査)機関に提出された磁気ディスクによる配列表  
☐ 出願後に提出した書面による配列表が出願時における国際出願の開示の範囲を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった  
☐ 書面による配列表に記載した配列と磁気ディスクによる配列表に記載した配列が同一である旨の陳述書の提出があった。

4. 補正により、下記の書類が削除された。

- ☐ 明細書 第 \_\_\_\_\_ ページ  
☐ 請求の範囲 第 \_\_\_\_\_ 項  
☐ 図面 図面の第 \_\_\_\_\_ ページ/図

5. ☐ この国際予備審査報告は、補充欄に示したように、補正が出願時における開示の範囲を越えてされたものと認められるので、その補正がされなかったものとして作成した。(PCT規則70.2(c) この補正を含む差し替え用紙は上記1.における判断の際に考慮しなければならず、本報告に添付する。)

## V. 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての法第12条(PCT35条(2))に定める見解、それを裏付ける文献及び説明

## 1. 見解

新規性(N)	請求の範囲	7, 8, 10-14, 17-22, 25-38	有
	請求の範囲	1-6, 9, 15, 16, 23, 24	無
進歩性(IS)	請求の範囲	11-14, 17-19, 22	有
	請求の範囲	1-10, 15, 16, 20, 21, 23-38	無
産業上の利用可能性(IA)	請求の範囲	1-38	有
	請求の範囲		無

## 2. 文献及び説明(PCT規則70.7)

- JP 11-186033 A (株式会社日立製作所)  
1999.07.09, 全文, 全図 (ファミリーなし)
- JP 2-42702 A (松下電器産業株式会社)  
1990.02.13, 全文, 全図 & US 5068147 A
- JP 1-99203 A (ソニー株式会社)  
1989.04.18, 特許請求の範囲、第3頁左上欄第14-18行 (ファミリーなし)
- JP 3-22404 A (松下電器産業株式会社)  
1991.01.30, 特許請求の範囲 (ファミリーなし)
- JP 2-137712 A (ダイキン工業株式会社)  
1990.05.28, 第1頁右下欄第4-7行 (ファミリーなし)
- JP 1-264919 A (松下電器産業株式会社)  
1989.10.23, 特許請求の範囲 (ファミリーなし)

・請求の範囲1-6, 9, 15, 16, 23, 24について  
国際調査報告で引用された文献1には超高真空蒸着装置により作成されたFeCマルテンサイト膜が記載されていると共に、鉄、コバルトの少なくとも一つの強磁性体金属原子からなる純金属あるいは合金の結晶格子間に炭素原子を侵入させた体心正方晶をもつ化合物膜が記載されている。文献1に記載されたFeC膜は、請求の範囲3-6, 15に係る発明の構成を有する蓋然性が高い。また、文献2には炭化鉄膜が鉄の層の上にスパッタ等により形成されている磁性薄膜が記載されている。

・請求の範囲7, 8, 10, 20について  
新たに引用された文献3には、炭素を0.1~15原子%含んだ鉄からなる軟磁性積層膜、窒素、炭素の少なくとも1種を含んだてつからなる軟磁性積層膜を、合金をターゲットとしてスパッタリングにより作成することが記載されている。また、新たに引用された文献4には、炭窒化鉄の軟磁性薄膜が記載されている。さらに、新たに引用された文献5には、合金ターゲットを用いてアルゴン雰囲気中でスパッタリング法により炭化鉄薄膜を製造することが記載されている。



補充欄 (いずれかの欄の大きさが足りない場合に使用すること)

第 V. 2 欄の続き

- ・請求の範囲 21 について  
新たに引用された文献 6 には、原料ガスとしてフェロセンを用いて炭化鉄薄膜を製造することが記載されている。
- ・請求の範囲 25 - 38 について  
炭化鉄薄膜を様々な磁気ヘッドや磁気デバイスとして用いることは、必要に応じて適宜為し得ることである。

PCT

## 国際調査報告

(法 8 条、法施行規則第 40、41 条)  
[PCT 18 条、PCT 規則 43、44]

出願人又は代理人  
の書類記号 PC-8421

今後の手続きについては、国際調査報告の送付通知様式(PCT/ISA/220)  
及び下記 5 を参照すること。

国際出願番号  
PCT/JP00/08167

国際出願日  
(日.月.年) 20.11.00

優先日  
(日.月.年) 31.05.00

出願人 (氏名又は名称)

高橋 研

国際調査機関が作成したこの国際調査報告を法施行規則第 41 条 (PCT 18 条) の規定に従い出願人に送付する。  
この写しは国際事務局にも送付される。

この国際調査報告は、全部で 2 ページである。

☐ この調査報告に引用された先行技術文献の写しも添付されている。

1. 国際調査報告の基礎

a. 言語は、下記に示す場合を除くほか、この国際出願がされたものに基づき国際調査を行った。

☐ この国際調査機関に提出された国際出願の翻訳文に基づき国際調査を行った。

b. この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでおり、次の配列表に基づき国際調査を行った。

☐ この国際出願に含まれる書面による配列表

☐ この国際出願と共に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出された書面による配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に提出した書面による配列表が出願時における国際出願の開示の範囲を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった。

☐ 書面による配列表に記載した配列とフレキシブルディスクによる配列表に記載した配列が同一である旨の陳述書の提出があった。

2. ☐ 請求の範囲の一部の調査ができない (第 I 欄参照)。

3. ☐ 発明の単一性が欠如している (第 II 欄参照)。

4. 発明の名称は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 次に示すように国際調査機関が作成した。

5. 要約は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 第 III 欄に示されているように、法施行規則第 47 条 (PCT 規則 38.2(b)) の規定により国際調査機関が作成した。出願人は、この国際調査報告の発送の日から 1 カ月以内にこの国際調査機関に意見を提出することができる。

6. 要約書とともに公表される図は、

第 2 (a) 図とする。 ☒ 出願人が示したとおりである。

☐ なし

☐ 出願人は図を示さなかった。

☐ 本図は発明の特徴を一層よく表している。

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int Cl<sup>7</sup> HO1F 10/14, G11B 5/31, 5/667

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int Cl<sup>7</sup> HO1F 10/14, G11B 5/31, 5/667

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2000年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2000年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2000年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP, 11-186033, A (株式会社日立製作所), 9. 7 月. 1999 (09. 07. 99), 特許請求の範囲 (ファミリー なし)	1-38

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

31. 01. 01

国際調査報告の発送日

1. 3. 02. 01

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

平塚 義三

平塚

5R

7371

電話番号 03-3581-1101 内線 6794

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2001年12月6日 (06.12.2001)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 01/93286 A1

(51) 国際特許分類: H01F 10/14, G11B 5/31, 5/667

(21) 国際出願番号: PCT/JP00/08167

(22) 国際出願日: 2000年11月20日 (20.11.2000)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:  
特願2000-163822 2000年5月31日 (31.05.2000) JP  
特願2000-321757  
2000年10月20日 (20.10.2000) JP

(71) 出願人 および

(72) 発明者: 高橋 研 (TAKAHASHI, Migaku) [JP/JP]; 〒982-0222 宮城県仙台市太白区人來田2丁目20-2 Miyagi (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): ジャヤブラウィ  
ラ デビッド (DJAYAPRAWIRA, David) [ID/JP]. 荘司

弘樹 (SHOJI, Hiroki) [JP/JP]; 〒980-0806 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉05 東北大学大学院工学研究科電子工学専攻内 Miyagi (JP).

(74) 代理人: 弁理士 志賀正武, 外 (SHIGA, Masatake et al.); 〒169-8925 東京都新宿区高田馬場三丁目23番3号 ORビル Tokyo (JP).

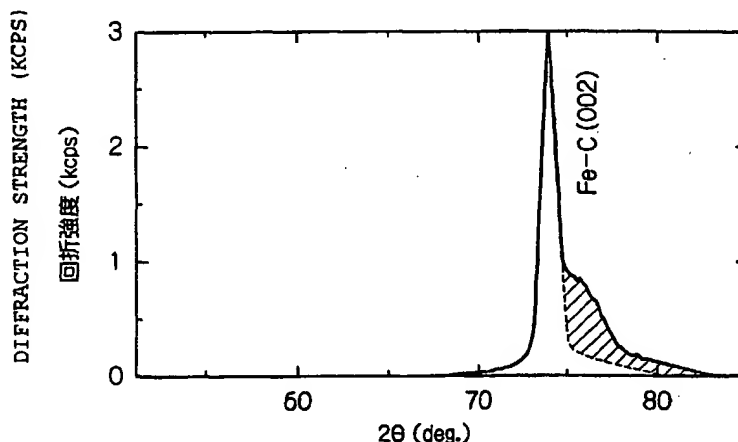
(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: MAGNETIC THIN FILM, PRODUCTION METHOD THEREFOR, EVALUATION METHOD THEREFOR AND MAGNETIC HEAD USING IT, MAGNETIC RECORDING DEVICE AND MAGNETIC DEVICE

(54) 発明の名称: 磁性薄膜、その製造方法、その評価方法及びこれを用いた磁気ヘッド、磁気記録装置並びに磁気デバイス

(57) Abstract: A magnetic thin film which can be produced by the same dry process as that for a magnetoresistance element forming a reproduction head, and is provided with excellent soft magnetic characteristics suitable as a recording head magnetic pole material and having a saturation magnetic flux density of at least 2T and a coercive force of up to 2 Oe; a production method therefor; and a magnetic head using it, a magnetic recording device and a magnetic device. The magnetic thin film is characterized by being an iron carbide film having a martensite ( $\alpha'$ ) phase as its main phase and containing at least carbon and iron as constituting elements. This iron carbide film is preferably in a form consisting of  $\alpha'$  phase, is a magnetic thin film specified by having a diffraction peak from  $\alpha'$ -phase's (002) plane observed as a main peak by

[続葉有]



添付公開書類:  
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

---

an X-ray diffraction method or an electron beam diffraction method, is provided with a body-centered tetragonal structure, and has a difficult-to-magnetize c-axis approximately vertical to the film surface and an easy-to-magnetize c-plane approximately horizontal to the film surface.

(57) 要約:

本発明は、再生ヘッドをなす磁気抵抗素子と同じドライプロセスで作製することが可能で、記録ヘッドの磁極材料として好適な飽和磁束密度が2 T以上で、保磁力が2 Oe以下の優れた軟磁気特性を備えた、磁性薄膜、その製造方法、及びこれを用いた磁気ヘッド、磁気記録装置並びに磁気デバイスを提供する。

本発明に係る磁性薄膜は、マルテンサイト ( $\alpha'$ ) 相を主たる相とし、少なくとも炭素と鉄を構成元素とする炭化鉄膜であることを特徴としている。この炭化鉄膜は  $\alpha'$  相単相からなる形態がより好ましい。この炭化鉄膜は、X線回折法あるいは電子線回折法により  $\alpha'$  相の (002) 面からの回折ピークが主たるピークとして観測されることによって特定される磁性薄膜であり、体心正方構造を備え、c軸が磁化困難軸、c面が磁化容易面をなしており、磁化困難軸は膜面に対して略垂直方向であり、磁化容易面は膜面に対して略水平方向となっている。

## 明細書

磁性薄膜、その製造方法、その評価方法及びこれを用いた磁気ヘッド、磁気記録装置並びに磁気デバイス

## 技術分野

本発明は、磁性薄膜、その製造方法、その評価方法及びこれを用いた磁気ヘッド、磁気記録装置並びに磁気デバイスに係る。より詳細には、成膜後に加熱処理をすることなく、高い飽和磁束密度 (saturation magnetic flux density) と小さな保磁力を兼ね備えた、高記録密度化や高周波化などを図るのに好適な磁性薄膜、その製造方法、その評価方法及びこれを用いた磁気ヘッド、磁気記録装置並びに磁気デバイスに関する。

本発明に係る磁性薄膜は、ハードディスク、フロッピーディスク、磁気テープ等に磁気信号を記録する磁気ヘッドの磁極材料などとして好適に用いられる。

## 背景技術

近年、高度情報化が著しく進むにつれて、その情報を格納する機器、中でも小型でしかも大容量の記憶装置へのニーズが一層強まっている。これに対応すべく、例えばハードディスクドライブ (HDD) では、搭載される磁気記録媒体の単位面積あたりの記録密度を向上させる技術開発が各研究機関によって鋭意進められている。

上記の高記録密度化を図るためには、媒体の記録層に書き込んだ微小な磁区を安定に存在させることが可能な高い保磁力を有する媒体、媒体にこのような微小な磁区を書き込むことが可能な記録ヘッド、及び、この微小な磁区からの漏洩磁界を高感度に検知することが可能な再生ヘッド、の開発が求められている。

従来の磁気ヘッドは、記録と再生の機能を兼ね備えた一つの素子から構成されていたが、装置の小型化により媒体の小径化が進み、磁化反転方向の線速が低下するにつれて、線速に依存せず漏洩磁界を安定して高感度に検知できる磁気抵抗効果を利用した磁気抵抗 (MR : magnetoresistive) 素子からなる再生ヘッド

が標準搭載されつつある。つまり、現在の磁気ヘッドは、書き込み専用の記録ヘッドと読み取り専用の再生ヘッドを複合化した構成からなる。

このような技術動向から明らかなように、これからの記録ヘッドには、保磁力の高い媒体を十分磁化させて信号を記録するために、強い磁界が発生できる飽和磁束密度の高い磁極材料が必須となる。

現在まで好適に使われてきた磁極材料としては、飽和磁束密度が約1テスラ(T)程度のパーマロイ(78wt%Ni-Fe合金)が有名である。その後、飽和磁束密度を向上させた材料として、1.1~1.2T程度の飽和磁束密度をもつセンダスト(Fe-Al-Si合金)や1.5T程度の飽和磁束密度をもつCo系非晶質材料等が開発された。

さらに最近では、以下に示す材料系が注目されている。

(1) 特開平11-074122号公報(文献1と呼称する)には、めっき法を用いたCo-Fe-Ni合金膜の作製法が開示されている。コバルト含有量が40~70wt%(重量%)、鉄含有量が20~40wt%およびニッケル含有量が10~20wt%であり、体心立方構造の $\gamma$ 相と面心立方構造の $\alpha$ 相の結晶構造をなすCo-Fe-Ni合金が作製できること、また得られた合金膜は、保磁力および磁歪が小さく、かつ2T以上の飽和磁束密度をもつことが記載されている。さらには、100℃以上の後加熱処理が耐食性の改善に有効であることも説明されている。

(2) 特開平08-107036号公報(文献2と呼称する)には、スパッタ法を用いたFe或いはCoを主体とした合金膜の作製法が開示されており、熱処理を行うことにより軟磁気特性が発現する磁性膜の材料として、Fe或いはCoを主体とし、これにTa、Zr、Hf或いはNbの内から選ばれる少なくとも1種類を5~20at%(原子%)の濃度範囲で、Si、B、C、Nの内から選ばれる少なくとも1種類の元素を5~20at%の濃度範囲で含む合金からなり、さらに、この磁性膜において磁性元素以外にAl、Ti、Cr、Ru、Rh、Pt

、Pd、Mo、Wの内から選ばれる少なくとも1種類の元素を1～20at%の濃度で添加したものが記載されている。得られた合金膜は、飽和磁束密度が1.5T、保磁力が0.1Oe（1Oe＝約79A/m）、1MHzにおける透磁率が3000以上であり、かつ、磁歪定数が $10^{-7}$ 台にあり、良好な軟磁気特性を備えていると説明されている。

（3）MBE（Molecular beam epitaxy）法を用いた単結晶 $\text{Fe}_{16}\text{N}_2$ 膜の作製法について、杉田らは次のように報告している[Y. Sugita et.al., J. Appl. Phys. 76, 6637(1994)、文献3と呼称する]。基体としては、作製する $\text{Fe}_{16}\text{N}_2$ 膜のa軸の長さで格子定数をほぼ一致させた $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ （001）という特殊な基体を用いる。まず、この基体を真空中で加熱処理（675℃、5分）後、温度を200℃とした基体上に、窒素雰囲気中で蒸着源の鉄を電子ビームで飛ばし、窒素を約11at%含有する窒化鉄膜を作製する。その際、成膜速度を0.002～0.003nm/secに、成膜中のガス圧を0.1～0.2mTorrにすることが重要である。得られた窒化鉄膜はマルテンサイト（ $\alpha'$ ）膜であり、その飽和磁束密度は約2.4Tであった。ついで、成膜後に $10^{-8}$ Torr台の真空中で200℃の熱処理いわゆるアニーリング処理を90時間行うことにより、飽和磁束密度が約2.9Tの単結晶 $\text{Fe}_{16}\text{N}_2$ （ $\alpha''$ ）膜が得られることが記載されている。

しかしながら、上述した従来技術には以下に示すような課題があった。

①文献1に示す技術は、記録ヘッドの磁極材料をめっき法というウェットプロセスで作製するものである。一方、同時に搭載される再生ヘッドをなすMR素子はめっき法による作製は困難であり、スパッタ法というドライプロセスで作製しなければならない。したがって、二重投資を回避し安価な製造工程を構築する、あるいは2つプロセスを跨ぐ界面管理（汚染回避や平坦性の維持など）を安定させる、などの見地からめっき法による磁極材料の作製は採用を控えたい状況にある。

②文献1に示す技術では、磁極をなす上記材料からなるめっき層を設ける際に



、絶縁層上に下地めっき層をスパッタ法で形成することが必要である。文献1に係る磁極材料が所望の特性を満たすためにはこの工程が不可欠であるが、ヘッド構造上は無駄な部分あるいは無駄な界面の追加に過ぎず、界面に起因した膜はがれや歪みを助長する元となりかねない。

③文献1の磁極材料は、成膜後の耐食性が不安であり、100℃以上の後加熱処理あるいは保護膜の追加が必須と判断される。これは、文献1の磁極材料を製品に適用する場合は対応策の検討を要することを示唆している。

④文献2の磁極材料は、再生ヘッドをなすMR素子と同様のスパッタ法で記録ヘッドを作製できるので、磁気ヘッドのオールドライプロセス化を推進する上から評価できる。しかしながら、得られる飽和磁束密度が1.5 T程度であり、今後高記録密度化を図る際に用いられる保磁力が2500エルステッド(Oe)を越える媒体に情報を書き込むには非力であると言わざるを得ない。

⑤文献2の磁極材料は、最低でも4元系とする必要があり、実施例では5元系が紹介されている。これより、良好な飽和磁束密度が得られる組成比のマージンが狭いことが危惧され、厳密な膜の組成制御が求められる。

⑥文献2の磁極材料は、所望の磁気特性とするためには結晶粒子サイズを制御する必要がある、これには成膜後の熱処理が必須である。例えば、成膜後に結晶化温度より50℃低い490℃で3時間熱処理し、その後590℃で30分間熱処理することが記載されている。再生ヘッド作製後に記録ヘッドを形成する場合、この熱処理は、再生ヘッドを構成する極薄層の積層体からなるMR素子の界面に乱れを発生させる原因となり、ひいてはMR素子の特性を劣化させる要因となるので採用しがたいプロセスである。

⑦文献3の磁性膜は、現在報告された中で最大の飽和磁束密度2.9 Tを有し、かつドライプロセスの一つであるMBE法で作製できる特徴を備えている。しかしながら、所望の特性を有する磁性膜は、特殊な基体表面上でしか得られないこと、またその成膜速度は0.002~0.003 nm/secと非常に遅く量産工程で用いるには困難な作製条件であること、等から実際の磁気ヘッド製造工

程へは採用されることはなかった。

上述した理由から、記録と再生の分離型磁気ヘッド製造プロセスにおいては、以下の条件を同時に満たす記録ヘッド用磁極材料およびその作製方法の開発が期待されている。

- (A) 1. 5 T以上、望ましくは2 T以上の飽和磁束密度を有する磁極材料。
- (B) 2 Oe以下、望ましくは1 Oe以下の保磁力を有する磁極材料。
- (C) 不純物の混在防止や界面平坦性の維持を図る目的から、再生ヘッドのMR素子製造と同じドライプロセスにて製造可能な磁極材料および製法。
- (D) 量産工程に適応した成膜速度すなわち製造プロセスへの適応力を備え、安価な製造ラインの構築が可能な製法。
- (E) 先に製造された薄膜積層体、例えばMR素子の界面に影響を与えないために、100℃以下の低温において成膜可能で、さらには成膜後の熱処理が不要な磁極材料および製法。

このような複数の条件を満たす報告としては、1972年のキムと高橋の報告が挙げられる [T.K.Kim and M.Takahashi, Appl.Phys.Lett. 20, 492 (1972)]。

この報告の特筆すべき点は、ドライプロセスの一つである蒸着法という非常にシンプルな薄膜形成法を用い、ほぼ室温とした基板上に、低保磁力でかつ2.58 Tという極めて高い飽和磁束密度を備えた窒化鉄膜を、量産可能な成膜速度で作製したことである。しかしながら、その後、多数の研究機関で追試が行われたが、上記特性を備えた磁性膜は安定して得られず、文献3のような特殊な条件下でしか作製できていない。

したがって、上記(A)～(E)に記載した条件を満たす記録ヘッド用の磁極材料およびその作製法が今まさに強く求められている。

なお、上記説明では面内磁気記録用の磁気ヘッドを特に取り上げて詳述したが、上記特性つまり「1.5 T以上、望ましくは2 T以上の飽和磁束密度」や「2 Oe以下、望ましくは1 Oe以下の保磁力」を備えた磁極材料は、垂直磁気記

録用の磁気ヘッドを構成する磁極材料としても利用できることは言うまでもない。従って、上記飽和磁束密度や保磁力を有する磁極材料は垂直磁気記録用の磁気ヘッドにも採用できる。ゆえに、このような優れた軟磁気特性を有する磁性薄膜は、面内記録あるいは垂直記録という区別無く、磁気記録の分野で広くに利用できることから、その開発が待望されていた。

また、上述した(A)～(E)に記載した条件を満たす磁性薄膜及びその製法ならば、磁気ヘッドを構成する磁極材料への適用以外に、以下に述べるような各種の磁気デバイスへの利用も期待されていた。

(AL 1) 面内磁気記録媒体(longitudinal recording medium)を構成する記録層として機能する硬磁性膜の上に設ける磁性薄膜として用いる。

(AL 2) 垂直磁気記録媒体(perpendicular magnetic recording medium)を構成する記録層として機能する硬磁性膜の下に設ける磁性薄膜として用いる。

(AL 3) エクスチェンジ磁石(exchange-spring magnet)あるいはスピントランジスタ磁石(spin transistor magnet)を構成する軟磁性層の少なくとも一部に用いる磁性薄膜として用いる。

(AL 4) 磁界センサ(magnetic sensor)を構成する伝送線路の少なくとも一部に用いる磁性薄膜として用いる。

(AL 5) 高周波受動デバイス(high frequency passive device)を構成する伝送線路の少なくとも一部に用いる磁性薄膜として用いる。

(AL 6) マイクロトランス(micro trans)あるいはマイクロインダクタ(micro inductor)を構成する磁性膜の少なくとも一部に用いる磁性薄膜として用いる。

上記(AL 1)～(AL 6)に記載の何れの磁気デバイスにおいても、上記特性つまり「1. 5 T以上、望ましくは2 T以上の飽和磁束密度」や「2 Oe以下、望ましくは1 Oe以下の保磁力」を備えた磁極材料は、各磁気デバイスの諸特性を一段と向上させることが期待できる。

本発明に係る第一の目的は、成膜中および成膜後に殆ど熱処理することなく、

少なくとも飽和磁束密度が2 T以上で、保磁力が2 Oe以下の軟磁気特性を有する磁性薄膜を提供することにある。

本発明に係る第二の目的は、再生ヘッドをなすMR素子と同じドライプロセスで作製可能な、記録ヘッドの磁極材料として好適な軟磁気特性を備えた磁性薄膜の製造方法を提供することにある。

本発明に係る第三の目的は、成膜中あるいは成膜後に、結晶構造が $\alpha'$ 相を主たる相とし、少なくとも炭素と鉄を構成元素とする炭化鉄膜であることを特定する評価方法を提供することにある。

本発明に係る第四及び第五の目的は、保磁力の高い媒体でも十分磁化させて信号を記録することが可能な磁気ヘッド及びこれを搭載した磁気記録装置を提供することにある。

本発明に係る第六の目的は、高記録密度化に対応できる磁気記録媒体を提供することにある。

本発明に係る第七の目的は、従来より優れた諸特性、例えばエネルギー積や周波数、電流密度などにおいて一段と優れた特性を有する各種の磁気デバイスを提供することにある。

#### 発明の開示

本発明に係る磁性薄膜は、 $\alpha'$ 相を主たる相とし、少なくとも炭素と鉄を構成元素とする炭化鉄膜であることを特徴としている。

本発明に係る磁性薄膜の製造方法は、減圧空間内に配置した基体上に、スパッタリング法、真空蒸着法、CVD法、イオンビーム蒸着法、レーザ蒸着法のいずれかの成膜法を用いて、少なくとも炭素と鉄を構成元素とし、 $\alpha'$ 相単相からなる炭化鉄膜を形成する工程を具備したことを特徴としている。

本発明に係る第一の磁性薄膜の評価方法は、 $\alpha'$ 相を主たる相とし、少なくとも炭素と鉄を構成元素とする炭化鉄膜であることを特定する手段としてX線回折法を用いることを特徴としている。

本発明に係る第二の磁性薄膜の評価方法は、 $\alpha'$ 相を主たる相とし、少なくとも炭素と鉄を構成元素とする炭化鉄膜であることを特定する手段として電子線回

折法を用いることを特徴としている。

本発明に係る磁気ヘッドは、上記構成の炭化鉄膜を記録ヘッドの磁極材料として用いたことを特徴としている。

本発明に係る磁気記録装置は上記磁気ヘッドを用い、移動する磁気記録媒体に磁氣的に情報を記録することを特徴としている。

本発明に係る第1の磁気デバイスは、上記構成の炭化鉄膜からなる磁性薄膜を、面内磁気記録媒体を構成する記録層として機能する硬磁性膜の上に設けたことを特徴としている。

本発明に係る第2の磁気デバイスは、上記構成の炭化鉄膜からなる磁性薄膜を、垂直磁気記録媒体の記録層として機能する硬磁性膜の下に設けたことを特徴としている。

本発明に係る第3の磁気デバイスは、上記構成の炭化鉄膜からなる磁性薄膜を、エキスチェンジ磁石あるいはスピントランジスタ磁石を構成する軟磁性層の少なくとも一部に用いたことを特徴としている。

本発明に係る第4の磁気デバイスは、上記構成の炭化鉄膜からなる磁性薄膜を、磁界センサを構成する伝送線路の少なくとも一部に用いたことを特徴としている。

本発明に係る第5の磁気デバイスは、上記構成の炭化鉄膜からなる磁性薄膜を、高周波受動デバイスを構成する伝送線路の少なくとも一部に用いたことを特徴としている。

本発明に係る第6の磁気デバイスは、上記構成の炭化鉄膜からなる磁性薄膜を、マイクロトランスあるいはマイクロインダクタを構成する磁性膜の少なくとも一部に用いたことを特徴としている。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明に係る磁性薄膜の一例を示す模式的な断面図であり、(a)は基体上に直接磁性層を設けた場合を、(b)は基体上にバッファ層を介して磁性層を設けた場合を示す。

図2は、本発明に係る磁性薄膜のX線回折結果を示すグラフであり、(a)は

磁性薄膜の(002)面からの回折線が主たるピークをなし、その高角側にブロードな肩が観測される場合を、(b)は磁性薄膜の(002)面からの回折線のみが観測される場合を示す。

図3は、実施例1で作製した試料S1をX線回折法で調べた結果を示すグラフである。

図4は、実施例1で成膜に用いたFe-C合金ターゲットの炭素含有量(横軸x)と作製した炭化鉄膜の炭素含有量(縦軸)との関係を示すグラフである。

図5は、シュルツ反射法で測定した炭化鉄膜の格子定数a, cおよびこれらの数値から求めた軸比c/aを膜中の炭素含有量に対してプロットしたグラフである。

図6は、実施例1で作製した試料S1のうち膜中の炭素含有量が4at%の炭化鉄膜のヒステリシス曲線であり、(a)はbct構造の<001>方向、(b)はbct構造の<100>方向、(c)はbct構造の<110>方向の結果を示す。

図7は、実施例1で作製した炭化鉄膜のヒステリシス曲線であり、bct構造の<001>方向または<100>方向に磁場を印加した場合の結果を示す。

図8は、実施例1で作製した炭化鉄膜のヒステリシス曲線であり、bct構造の<100>方向または<110>方向に磁場を印加した場合の結果を示す。

図9は、実施例1で作製した試料S1の炭素含有量と飽和磁束密度Bsとの関係を示すグラフである。

図10は、実施例1で作製した試料S1の炭素含有量と保磁力Hcとの関係を示すグラフである。

図11は、実施例4で炭化鉄膜を作製するときの基体温度と得られた炭化鉄膜の(002)面のX線強度との関係を示すグラフである。

図12は、実施例の磁性薄膜試料作製に用いた直流マグネトロンスパッタ装置を示す模式的な断面図である。

図13は、本発明に係る主に面内磁気記録用の磁気ヘッドの構造の一例を示す斜視図であり、その一部分を切断した状態とした図面である。

図14は、本発明に係る磁気記録装置の一例を示す側断面図である。

図15は、図14に示す磁気記録装置の平断面図である。

図16は、炭化鉄膜に含有させる窒素量を変えて、C含有量と結晶磁気異方性定数Kuとの関係調べた結果を示すグラフである。

図17は、本発明に係る炭化鉄膜を磁極に用いた垂直磁気記録用の記録ヘッドと、垂直磁気記録媒体とを示す模式的な断面図である。

図18は、本発明に係る炭化鉄膜を面内磁気記録媒体を構成する記録層として機能する硬磁性膜の上に設けてなる磁気デバイスを示す模式的な断面図である。

図19は、本発明に係る炭化鉄膜を垂直磁気記録媒体の記録層として機能する硬磁性膜の下に設けてなる磁気デバイスを示す模式的な断面図である。

図20は、本発明に係る炭化鉄膜をエキスチェンジ磁石あるいはスピントランジスタ磁石を構成する軟磁性層として用いてなる磁気デバイスを示す模式的な断面図である。

図21は、本発明に係る炭化鉄膜を磁界センサを構成する伝送線路の少なくとも一部に用いてなる磁気デバイスを示す模式的な平面図(a)と、A-A'部分の模式的な断面図(b)である。

図22は、本発明に係る炭化鉄膜を高周波受動デバイスを構成する伝送線路の少なくとも一部に用いてなる磁気デバイスを示す模式的な斜視図である。

図23は、本発明に係る炭化鉄膜をマイクロトランスあるいはマイクロインダクタを構成する伝送線路の少なくとも一部に用いてなる磁気デバイスを示す模式的な斜視図である。

(符号の説明)

- 10 基体、
- 11 磁性層、
- 12 バッファ層、
- 21 成膜室、
- 22 バッファ層形成用のカソード、
- 23 磁性膜形成用のカソード、
- 24 第一ターゲット、
- 25 第二ターゲット、

- 26、27 絶縁部材、
- 28、29 直流電源、
- 30、31 アースシールド、
- 32 シャッタ、
- 33 シャッタの回転手段、
- 34 シャッタの開口部、
- 35 基体ホルダー支持部材、
- 36 基体ホルダー支持部材の回転手段、
- 37 基体の温度制御手段、
- 38 基体ホルダー、
- 39 基体、
- 40 磁場印加手段、
- 41 排気口、
- 42 ガス導入口、
- 43 排気手段、
- 44 ガス供給源、
- 50 磁気ヘッド、
- 51 磁気抵抗素子、
- 52 下部シールド層、
- 53 上部シールド層を兼ねる下部磁極、
- 54 コイル、
- 55 上部磁極、
- 56 基板、
- 57 電極、
- 58 再生ヘッド、
- 59 記録ヘッド、
- 70 ハード・ディスク装置、
- 71 筐体、
- 72 磁気記録媒体、



- 73 スペーサ、
- 74 スピンドル、
- 75 モータ、
- 76 軸受け、
- 77 回転軸、
- 78 スイングアーム、
- 79 サスペンション、
- 80 記録ヘッド、
- 81 基板、
- 82 絶縁体、
- 83 コイル、
- 84 中間層、
- 86 保護層、
- 87 垂直磁気記録媒体、
- 88 基板、
- 89 記録層、
- 90、91 面内磁気記録媒体、
- 92 基板、
- 93 金属下地層、
- 94 記録層、
- 95 磁性薄膜、
- 96 保護層、
- 97 中間層、
- 100、101 垂直磁気記録媒体、
- 102 基板、
- 103 磁性薄膜、
- 104 記録層、
- 105 保護層、
- 106 中間層、

- 200 エクスチェンジ磁石、
- 201 硬磁性層、
- 202 軟磁性層、
- 203 スピントランジスタ磁石、
- 204 硬磁性層、
- 205 非磁性層、
- 206 軟磁性層、
- 300 磁界センサ、
- 301 磁性膜、
- 302、304 絶縁層、
- 304、305 導線、
- 400 高周波受動デバイス、
- 401 基板、
- 402、404 絶縁層、
- 403 磁性層、
- 405 線路、
- 500 マイクロトランス（マイクロインダクタ）、
- 501 磁性層、
- 502 絶縁体、
- 503 線路。

#### 発明を実施するための最良の形態

本発明者らはこれまでの背景に鑑み、磁性材料に関して更なる研究を重ねた結果、以下に記述する本願発明に到達した。

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

本発明に係る磁性薄膜は、 $\text{CoK}\alpha$ 線を用いたX線回折法により、その結晶構造がマルテンサイト（ $\alpha'$ ）相単相を含むことが確認される炭化鉄膜であり、図1（a）に示すように、この炭化鉄膜は成膜時に $100^\circ\text{C}$ を越えるような加熱処理が行われていない基体10上に安定して得られる。また、この炭素鉄膜11は

、成膜後に取えて加熱処理をしなくても2 T以上の飽和磁束密度 (saturation magnetic flux density)  $B_s$  と2 Oe以下の保磁力 (coercive force)  $H_c$  を同時に備えた良好な軟磁気特性を有する。

上記特徴を備えた炭化鉄膜11は、図2に示すように、X線回折法により、 $\alpha'$  相の(002)面からの回折線すなわち $\alpha'$  (002)を主に含み観測されることによって識別される。図2において、(a)は炭化鉄膜の(002)面からの回折線が主たるピークをなし、その高角側にブロードな肩が観測される場合であり、(b)は炭化鉄膜の(002)面からの回折線のみが観測される場合である。

上述した2 T以上の飽和磁束密度 $B_s$ と2 Oe以下の保磁力 $H_c$ を同時に備えた良好な軟磁気特性は、図2(a)に示す炭化鉄膜に比べて、図2(b)のように(002)面からの回折線のみが観測される炭化鉄膜の方が得られやすく、例えば $M_s$ が2.2 Tを越えたり、あるいは $H_c$ が1 Oe以下という特性を備えた膜が実現できる。これに対して、図2(a)の炭化鉄膜は軟磁気特性が幾分低下するものの、上記ブロードな肩部分が多少あっても2 T以上の飽和磁束密度 $B_s$ と2 Oe以下の保磁力 $H_c$ を得ることは可能である。

また上記構成では炭素と鉄とからなる炭化鉄膜についてのみ述べたが、これら炭素元素と鉄元素以外の、例えば磁歪や、磁気異方性エネルギー、透磁率、比抵抗、耐食性、機械的な加工性などの各種特性を改善する目的から、他の元素、例えばCo、Ni、C、O、N、B、Ta、Nd、Au、Ag、Pdなどの元素を適宜含有させても構わないことは言うまでもない。

つまり、本発明に係る $\alpha'$ 相を主たる相とする炭化鉄膜11は、図2(a)から明らかなように、 $\alpha'$ 相の(002)面からの回折線と、その他の回折線すなわち高角側に観測されるブロードな肩部分(斜線部)とから構成されるものである。

そして、上記その他の回折線が消失し単結晶が形成された場合には、炭化鉄膜

11は $\alpha'$ 相単相のみから構成され、図2(b)に示すような $\alpha'$ 相の(002)面からの回折線のみが観測され、特定されるものである。

この $\alpha'$ 相の(002)面からの回折線は $2\theta$ が $70^\circ \sim 77^\circ$ の範囲で得られ、 $2\theta$ が $20^\circ \sim 115^\circ$ の範囲では $\alpha'$ (002)より強い回折線は観測されない。したがって、本発明に係る炭化鉄膜11は、製造時に所望の結晶形態を備えているか否かを容易に識別することができるので、成膜後はもとより成膜している最中でも膜質を正確に把握しながら作製可能である。

また、シュルツ反射法により、本発明に係る炭化鉄膜は体心正方構造(bct構造: body-centered tetragonal structure)を有することが確認できることから、このシュルツ反射法を利用することによっても、作製中あるいは作製後に炭化鉄膜の膜質を検査することができるので、より一層安定した製造工程の構築が可能となる。

さらに、振動試料型磁力計(VSM: vibrating sample magnetometer)を用いた磁化曲線の測定から、上記炭化鉄膜は、 $\langle 001 \rangle$ 方向が磁化することが困難であり、 $\langle 100 \rangle$ 方向および $\langle 110 \rangle$ 方向が磁化することが容易なことから、c軸が磁化困難軸(axis of hard magnetization)を、c面が磁化容易面(plane of easy magnetization)を構成することが確認できる。これは、炭化鉄膜のc面内において適当な強さを持つ正負の外部磁場を印加することにより、c面内に発生する磁化の方向の反転制御が容易にできることを意味する。したがって、本発明に係る炭化鉄膜は記録ヘッドの磁極材料として好適である。

特に、上記炭化鉄膜は、自発磁化(spontaneous magnetization)がc面内で磁化容易軸方向からはずれるときに要する磁気異方性エネルギー(magnetic anisotropy energy)に比べて、c面からc軸方向に振れるときに要する磁気異方性エネルギーの方が2桁以上大きい。したがって、上記炭化鉄膜においては、自発磁化がc面からc軸方向に振れてしまうことは殆どなく、c面内においてのみ安定して磁化の方向を制御することができる。

さらには、上述した磁化困難軸は膜面に対して略垂直方向を、磁化容易面は膜

面に対して略水平方向をなしているので、上記外部磁場を印加する方向は当該炭化鉄膜の膜面に平行方向すなわち基体表面に対して平行方向とするればよいことを意味する。すなわち、炭化鉄膜を設けた同一の基体上に外部磁場の印加手段を配置さえすれば、基体表面に平行な方向に沿った磁化の方向制御が可能となるので、本発明に係る炭化鉄膜は極めて取り扱いやすいという特徴がある。

本発明に係る炭化鉄膜は、その組成を0.5 at %以上15 at %以下の炭素と残部鉄とすることにより、2 T以上の飽和磁束密度を有するとともに、保磁力を2 Oe以下にできる。そして、膜組成を1 at %以上12 at %以下の炭素と残部鉄とした場合は、さらに保磁力は小さくなり1 Oe以下に抑えられるのでより好ましい。

本発明に係る炭化鉄膜に適当な量のコバルトを第三元素として含有させることにより、保磁力を低く維持したまま飽和磁束密度をさらに増加させることができ、2.2 Tを越える数値が得られる。

また、本発明に係る炭化鉄膜は $10^{-6}$  台の磁歪をもっているが、膜中に窒素を第三元素として取り入れることにより磁歪は低減され、 $10^{-7}$  台という極めて小さな磁歪を有する薄膜が実現できる。更には、炭化鉄膜中に適当量の窒素を含有させると共に、適宜膜中のC含有量を制御することにより $10^5$  [erg/cm<sup>3</sup>] 台の結晶磁気異方性定数Ku値が得られる。

前記炭化鉄膜は、該炭化鉄膜の原子間距離と略同一の原子間距離を具備する薄膜上に配設されることで、上述した各種磁気特性がより一層安定して得られる。その薄膜の一例としては、(200)面を表面とする鉄膜が挙げられる。

また、前記炭化鉄膜の各種磁気特性をより一層安定して得るためには、上記薄膜を構成する主たる元素としては、該炭化鉄膜と格子定数が略同一であるものが好ましい。本願発明に係る炭化鉄膜の下層として該炭化鉄膜と格子定数が略同一の元素で主に構成された薄膜を用いることで、その上に堆積される炭化鉄膜は極めて安定に初期成長が行われ、膜厚が増加しても膜中に歪みなどの発生が抑制さ

れることによって、一段と結晶性の高い成膜が達成されるので、安定した各種磁気特性を備えた炭化鉄膜が得られる。上記炭化鉄膜と格子定数が略同一の元素としては、例えば、Ag、Au、Pd、Pt、Rh、Al、Ir、Ruから選択される1つ以上の元素が挙げられる。各元素の格子定数は、Ag=4.09 Å (a軸)、Au=4.08 Å (a軸)、Pd=3.89 Å (a軸)、Pt=3.92 Å (a軸)、Rh=3.80 Å (a軸)、Al=4.05 Å (a軸)、Ir=3.84 Å (a軸)、Ru=4.28 Å (c軸)である。ここで、本発明では炭化鉄膜と格子定数が略同一とは、 $4 \text{ Å} \pm 10\%$ の範囲を指す。但し、 $1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm}$ である。

さらに、本発明に係る炭化鉄膜は結晶磁気異方性定数 (magnetocrystalline anisotropy constants)  $K_u$  が負であることを特徴としている。これは自発磁化がc面内で安定となることを示唆しているので、作製した炭化鉄膜の結晶磁気異方性定数を調べることによって、所望の膜質を備えているか否かを容易に判断することができる。

また、上述したように、本発明に係る炭化鉄膜はc面が磁化容易面でc軸が磁化困難軸となっており、自発磁化がc面内で磁化容易軸方向からはずれるときに要する磁気異方性エネルギーに比べて、c面からc軸方向に振れるときに要する磁気異方性エネルギーの方が2桁以上大きいという特徴を有している。これは、高周波コアの材料として公知であるフェロックスプレーナ (Ferroxplana) とよばれるマグネトプランバイト型の酸化物と同様の特徴であることから、本発明に係る炭化鉄からなる磁性薄膜も高周波コアの材料として有望であることを示唆している。

本発明に係る磁性薄膜の製造方法は、減圧空間内に配置した基体上に、スパッタリング法、真空蒸着法、化学気相成長 (CVD) 法、イオンビーム蒸着法、レーザー蒸着法のいずれかの成膜法を用いて、少なくとも炭素と鉄を構成元素とし、 $\alpha'$  相を主たる相とする炭化鉄膜を形成する工程を具備したことを特徴としている。基体に対する磁性薄膜の高い密着性が得られやすいという理由から、スパ

スパッタリング法が好適に用いられる。しかしながら、少なくとも炭素と鉄を構成元素とする薄膜の作製が可能で、かつ $\alpha'$ 相を主たる相とする炭化鉄膜を形成する工程を備えていればスパッタリング法に限定されることはなく、真空蒸着法、CVD法、イオンビーム蒸着法、レーザ蒸着法を用いても構わない。

また、上記工程で作製される $\alpha'$ 相を主たる相とする炭化鉄膜は、成膜後に敢えて後加熱処理をすることなく、成膜直後いわゆるAs-depoの状態安定して形成されるので、この炭化鉄膜を成膜する前に基体上に別の磁性膜からなる素子、例えば磁気抵抗効果素子などが設けてあっても、この素子が熱的影響を受けることがないという利点がある。

さらには、上記工程で作製される $\alpha'$ 相を主たる相とする炭化鉄膜は、到達真空度が $10^{-7}$  Torr台という成膜空間を利用する通常の成膜プロセスであっても、2 T以上の飽和磁束密度と2 Oe以下の保磁力という優れた軟磁気特性を有する。

上述した構成の炭化鉄膜は、表面温度を $5^{\circ}\text{C}$ 以上 $100^{\circ}\text{C}$ 以下とした基体上に形成することによって、 $\alpha'$ 相の(002)面からの回折線、すなわち、 $\alpha'$ (002)の強度が最大値の80%以上得られるので、安定した薄膜形成が可能となる。また、基体の表面温度を $10^{\circ}\text{C}$ 以上 $70^{\circ}\text{C}$ 以下とした場合は、 $\alpha'$ (002)の強度が最大値の90%以上となり、所望の磁気特性を備えた炭化鉄膜をより一層安定して作製できるのでより好ましい。

さらに、前記炭化鉄膜を形成する工程の前に、前記基体を減圧空間内で熱処理する工程、減圧空間内で熱処理された基体上に、スパッタリング法、真空蒸着法、CVD法、イオンビーム蒸着法、レーザ蒸着法のいずれかの成膜法を用いて、前記炭化鉄膜の原子間距離と略同一の原子間距離を具備する薄膜を形成する工程、及び、前記薄膜を設けた基体を少なくとも $100^{\circ}\text{C}$ 以下に冷却する工程、を具備することによって、上述した各種磁気特性がより安定して得られる磁性薄膜の製造方法が提供できる。

例えば、加熱された基体上に前記炭化鉄膜の原子間距離と略同一の原子間距離

を具備する薄膜として鉄膜を堆積することで、(200)面を表面とする $\alpha$ 相の鉄膜すなわち $\alpha$ -Fe膜が得られる。次いで、この鉄膜を設けた基体を100℃以下に冷却後、この鉄膜上に炭化鉄膜を作製することによって、上述した $\alpha'$ 相の(002)面からの回折線すなわち $\alpha'$ (002)のみ観測される本発明に係る炭化鉄膜が容易に形成できる。ここで、上記鉄膜を作製する場合の基体温度としては、150℃以上が好ましく、200℃以上がより好ましい。

その際、上記薄膜を構成する主たる元素は、前記炭化鉄膜と格子定数が略同一であるものが好ましく、具体的には、この薄膜を構成する主たる元素としては、Ag、Au、Pd、Pt、Rh、Al、Ir、Ruから選択される1つ以上の元素が挙げられる。

上記炭化鉄膜の形成方法としては、炭化鉄膜の形成用の母材源として、少なくとも炭素と鉄からなる合金若しくは焼結母材又は炭素からなる母材と鉄からなる母材とを組合せた複合母材と、不活性ガスからなるプロセスガスとを用い、炭化鉄膜を基体上に堆積させる方法が好適に用いられる。

あるいは、上記炭化鉄膜の形成方法の代わりに、炭化鉄膜の形成用の母材源として、少なくとも鉄からなる母材と、少なくとも構成元素として炭素を含む反応性ガスからなるプロセスガスとを用い、該炭化鉄膜を基体上に堆積させる方法を用いても構わない。

上記母材は、スパッタリング法で用いる場合はターゲットと呼ばれる略平板状の部材として、各種の蒸着法で用いる場合は塊状の蒸着原料として提供される。反応性スパッタリング法やCVD法の場合は、上述した炭素を含む反応性ガスをプロセスガスの一部もしくは全部として用いてもよい。

その際、2Tを越える飽和磁束密度と2Oeより低い保磁力という優れた軟磁気特性を有する炭化鉄膜を形成するためには、前記合金若しくは焼結母材としては0.5at%以上15at%以下の炭素と残部鉄からなる組成の材料が好ましく、1at%以上12at%以下の炭素と残部鉄からなる組成の材料がさらに望ましい。



本発明に係る第一の磁性薄膜の評価方法は、 $\alpha'$ 相を主たる相とし、少なくとも炭素と鉄を構成元素とする炭化鉄膜であることを特定する手段としてX線回折法を用いることを特徴としている。

本発明に係る第二の磁性薄膜の評価方法は、 $\alpha'$ 相を主たる相とし、少なくとも炭素と鉄を構成元素とする炭化鉄膜であることを特定する手段として電子線回折法を用いることを特徴としている。

X線回折法又は電子線回折法を用いた何れかの結晶構造解析により、 $\alpha'$ 相を主たる相とし、少なくとも炭素と鉄を構成元素とする炭化鉄膜は、成膜中あるいは成膜後によらず、大気雰囲気か減圧雰囲気かに依存せず、明らかにその結晶形態を容易に特定することが可能である。

記録ヘッドの磁極材料として、上述した2 Tを越える飽和磁束密度と2 Oeより低い保磁力を有する炭化鉄膜を用いることによって、従来のヘッドに比べて高い書き込み能力をもつ磁気ヘッドが得られる。つまり、飽和磁束密度の高い材料を上部磁極および／又は下部磁極の全部あるいは一部に用いることで、これらの磁極は磁氣的に過度に飽和することなく、強い磁界強度および高い磁界勾配を作り出すことができるので、線記録密度の向上が図れる。一方、この飽和磁束密度の高い磁極材料は、トラック密度を高める効果もある。すなわち、記録ヘッドのトラック幅が狭くなると記録ヘッドから漏れる磁界の強度も小さくなるが、飽和磁束密度が高ければ漏れ磁界の強度を高く維持できるので、従来より狭トラック化も達成できる。従って、本発明に係る磁性薄膜を記録ヘッドの磁極材料とした磁気ヘッドは、従来より保磁力の高い磁気記録媒体に低ノイズでかつ高い分解能で磁気信号を書き込むことができ、より一層高い面記録密度を実現する。

従来は、例えば飽和磁束密度が1.5～1.8 T程度の磁極材料からなる記録ヘッドは保磁力が2500 Oe程度までの媒体に書き込むことができたが、本発明に係る炭化鉄膜を磁極材料に用いた記録ヘッドは2500 Oe以上の高保磁力な媒体に対しても十分な書き込み能力を有する。

従って、本発明に係る炭化鉄膜を磁極材料とした記録ヘッドと2500 Oe以上の高い保磁力を有する磁気記録媒体とを組み合わせることによって、従来より高い記録密度で、移動する磁気記録媒体に磁氣的に情報を記録することが可能な磁気記録装置が得られる。その際、磁気記録装置の再生ヘッドとしては、例えば、外部磁界を加えると抵抗が変化する磁気抵抗効果を示す膜を再生素子（磁気抵抗素子）として備えたMRヘッド（magnetoresistive head）やGMRヘッド（giant magnetoresistive head）、TMRヘッド（tunneling magnetoresistive head）などが好適に用いられる。

また、上記の移動する磁気記録媒体としては、基板と平行方向に磁化容易軸を有する面内磁気記録媒体が好適に用いられるが、基板と垂直方向に磁化容易軸を有する垂直磁気記録媒体を用いても構わない。

さらに、本発明に係る炭化鉄膜を磁極材料とした記録ヘッドは、図13に示すような面内磁気記録用の磁気ヘッドのみならず、図17に示すような垂直磁気記録用の記録ヘッドとしても利用できる。図17において、本発明に係る炭化鉄膜は少なくとも磁極85として好適に用いられる。なお、図17において、80は垂直用の記録ヘッド、81は例えば磁性材からなる基板、82は絶縁体、83は導体からなるコイル、84は非磁性材からなる中間層、86は絶縁体からなる保護層である。また、87は垂直磁気記録媒体、88は垂直磁気記録媒体の基板、89は垂直磁気記録媒体の記録層を表す。

垂直用の記録ヘッド80を構成する磁極材料として飽和磁束密度が2 T以上でかつ保磁力1 Oe 以下という優れた軟磁気特性を有する本発明に係る炭化鉄膜を用いることにより、垂直磁気記録媒体87側から見た記録ヘッドの磁極部85の面積が小さくなったり、あるいは厚さが薄くなっても、垂直磁気記録媒体87を構成する記録層89に対して強い漏洩磁束を与えることができる。

従って、本発明に係る炭化鉄膜を磁極材料とした記録ヘッド80は、面内磁気記録のみならず垂直磁気記録においても高記録密度化に寄与する。

なお、上記説明では本発明に係る炭化鉄膜を記録ヘッドの磁極材料に利用した場合（図17）について詳述したが、これ以外に、本発明に係る炭化鉄膜を、記

録ヘッド 80 に例えば MR 素子を備えた再生ヘッドを組み込んだ磁気ヘッド、すなわち記録／再生の両機能を備えた磁気ヘッドに利用しても構わない。

本発明に係る炭化鉄膜からなる磁性薄膜は、面内磁気記録媒体を構成する記録層として機能する硬磁性膜の上に設けてなる磁気デバイスに利用できる。図 18 に示すとおり、その構成としては、(a) に示す炭化鉄膜からなる磁性薄膜 95 を硬磁性膜からなる記録層 94 の上に直接設けた面内磁気記録媒体 90 と、

(b) に示す炭化鉄膜からなる磁性薄膜 95 と記録層 94 との間に非磁性膜からなる中間層 97 を設けた面内磁気記録媒体 91 の 2 通りがある。なお、92 は基板、93 は金属下地層、96 は保護層を表す。何れの場合でも、硬磁性膜の上に本発明に係る炭化鉄膜を設けたことにより、記録層の磁化からの磁束を、軟磁気特性に優れた炭化鉄膜からなる磁性薄膜の内部で還流させ、反磁界を減少させて、磁化を安定に保つことができる。従って、上記構成からなる磁気デバイスは、面内磁気記録の高記録密度化に伴い記録層に書き込まれた磁化が小型化しても、磁化を安定に保つ性能に優れる。

本発明に係る炭化鉄膜からなる磁性薄膜は、垂直磁気記録媒体の記録層として機能する硬磁性膜の下に設けてなる磁気デバイスに利用できる。図 19 に示すとおり、その構成としては、(a) に示す炭化鉄膜からなる磁性薄膜 103 を硬磁性膜からなる記録層 104 の下に直接設ける垂直磁気記録媒体 100 と、(b) に示す磁性薄膜 103 と記録層 104 との間に非磁性膜からなる中間層 106 を設ける垂直磁気記録媒体 101 の 2 通りがある。なお、102 は基板、105 は保護層を表す。何れの場合でも、硬磁性膜の下に本発明に係る炭化鉄膜を設けたことにより、飽和磁束密度が 2 T より低い軟磁性膜を用いた場合に比べて、記録ヘッドの磁極から発生する磁場を一段と大きくすることが可能となるので、記録層の垂直磁化をより一層容易に形成できる。

これは、記録ヘッドの磁極を媒体側から見た面積が小型化しても、記録ヘッドの磁極から発生する磁場を十分に保つことができることを意味するので、本発明に係る炭化鉄膜を記録層として機能する硬磁性膜の下に設けてなる磁気デバイス

は、垂直磁気記録の高記録密度化に貢献できる。

本発明に係る炭化鉄膜からなる磁性薄膜は、エキスチェンジ磁石あるいはスピントランジスタ磁石を構成する軟磁性層として用いてなる磁気デバイスに利用できる。図20(a)は厚さ数nmの硬磁性層201と軟磁性層202からなるエキスチェンジ磁石200を示す模式的な断面図であり、図20(b)は厚さ数nmの硬磁性層204、非磁性層205および軟磁性層206からなるスピントランジスタ磁石203を示す模式的な断面図である。

一般に、原子何十個という中間レベル(メゾ)の大きさあるいは厚さにおいて特殊な素子機能を発揮するものをメゾスコピック材料と呼ばれており、エキスチェンジ磁石200は硬磁性層201と軟磁性層202からなる2層膜構造であり、このメゾスコピックレベルでは2層間に交換結合力が発生し、減磁曲線ガスリング状の挙動を示すので、スプリング磁石とも呼ばれる。そのため従来の磁石のエネルギー積の限界を突破し、100MGOeを超える驚異的な磁石が可能となる。同時に層間にはスピンバルブ機能も発生してGMR機能も兼ね備えた複合素子材料ともなり得る。

一方、スピントランジスタ磁石203は硬磁性層204はエミッタ、非磁性層205はベース、軟磁性層206はコレクタとして機能する。すなわち、硬磁性層204と非磁性層205との間にバイアス電流を流しておく、硬磁性層204のスピン電子(→印)は非磁性層205中に注入されてミノリティキャリアになる。非磁性層205の厚さがメゾスコピックであると、スピン電子(→印)はライフタイム間に軟磁性層206に達する。その際、軟磁性層206の磁化の方向によって、スピン電子は軟磁性層206に流入したり、拒否されたりする。これによって、コレクタ回路は電流が「+、0、-」に変化し、トランジスタ作用が起こることが期待される。

しかるに、上記エキスチェンジ磁石200やスピントランジスタ磁石203が安定に機能するためには、これらを構成する軟磁性膜202、206が、数nmという極薄の厚さとしたとき膜面内に磁化容易面をもち、かつ優れた軟磁気特性

を維持できることが求められる。この要求、すなわち極薄膜〔メジスコピック（数十原子層）領域〕でも、本発明に係る炭化鉄膜は成膜後（as-depo 時）の段階で、つまり後加熱（anneal）が無くても、薄膜の面内に磁化容易軸をもち、後加熱が不要であることから、この後加熱による界面拡散が発生しない、という利点を有している。

つまり、本発明に係る炭化鉄膜は、まさに成膜後に上記特性を満たすことができるので、エクステンジ磁石 200 やスピントランジスタ磁石 203 を構成する軟磁性膜 202、206 として極めて好適な材料である。

これに対して、従来の軟磁性膜では上記特性を満たすためには成膜後の後加熱処理を要するため、厚さが数 nm の軟磁性膜は界面にて接触する薄膜、すなわちエクステンジ磁石の場合は硬磁性膜 201、スピントランジスタ磁石の場合は非磁性膜 205、と拡散現象が容易に生じるため、nm オーダーの積層体は形成することが実質的に困難な状況にあり、エクステンジ磁石やスピントランジスタ磁石をなす構造体を作製するのは難しかった。

本発明に係る炭化鉄膜からなる磁性薄膜は磁界センサを構成する伝送線路の少なくとも一部に用いてなる磁気デバイスに利用できる。磁界センサ 300 を構成する伝送線路の一例としては、図 21 に示すとおり、接地された磁性層 301 として本発明に係る炭化鉄膜を用い、磁性膜 301 の上下に絶縁層 302、304 を介してスパイラル構造をなす導線をそれぞれ設けた構成が挙げられる。絶縁層 302 の上面に配置された上部導線 304 は、端子 a において絶縁層 303 の下面に配置された下部導線 305 と接続されている。つまり、上部導線 304 の端子 b と下部導線 306 の端子 c は端子 a を介して直列に接続された構成をなす。

上記構成からなる電送線路は、外部磁界によって磁性層 301 の磁化率が変化し、これに伴い伝送特性が変化するので、磁界センサとして利用できる。しかしながら、その際には、伝送線路が延びる方向（矢印  $\alpha$  の方向）に磁性層 301 の磁化容易軸方向を揃えることが必要である。これに対して、本発明に係る炭化鉄膜は成膜後に基板面を磁化容易面として成長するという特徴を備えているので、上記磁性層 301 に求められる機能を安定して得ることができる。よって、本発

明の炭化鉄膜を磁性層 301 とすることにより、容易に上記構成からなる磁界センサが得られる。

本発明に係る炭化鉄膜からなる磁性薄膜は高周波受動デバイスを構成する伝送線路の少なくとも一部に用いてなる磁気デバイスに利用できる。高周波受動デバイス 400 を構成する伝送線路の一例としては、図 22 に示すとおり、絶縁体からなる基板 401 上に、絶縁層 402、404 に挟まれるように磁性層 403 として本発明に係る炭化鉄膜を設け、さらに磁性層 403 の上に位置する絶縁層 404 上に導体からなる線路 405 を配したものが挙げられる。

上記構成の高周波受動デバイスでは、磁性層 403 を加えることで、線路自身のインピーダンスが大きくなり、線路 405 を伝わる信号の波長を短くできることが知られている。この傾向をより安定して得るためには磁性層 403 の飽和磁束密度は高い方が好ましいことから、2 T を超える飽和磁束密度を有する本発明に係る炭化鉄膜を磁性層 403 として用いることによって、安定性に優れた高周波受動デバイスが得られる。

本発明に係る炭化鉄膜からなる磁性薄膜はマイクロトランスあるいはマイクロインダクタを構成する伝送線路の少なくとも一部に用いてなる磁気デバイスに利用できる。ここで、マイクロトランスとは数 10 MHz 以下の比較的低い周波数帯域で使用するを意図した素子であり、マイクロインダクタとは数 10 MHz より高い周波数帯域で使用するを目的とした素子である。

このようなマイクロトランスあるいはマイクロインダクタ 500 を構成する伝送線路の一例としては、図 23 に示すとおり、本発明に係る炭化鉄膜からなる磁性層 501 の周囲に絶縁体 502 を設け、この絶縁体 502 の外周に導体からなる線路 503 を重ならないように巻き付けて配したものが挙げられる。

上記構成のマイクロトランスあるいはマイクロインダクタでは、磁性層 501 として高い飽和磁束密度の材料を採用することにより、線路 503 に流す許容電流を増やせることが知られている。つまり、2 T を超える飽和磁束密度を有する本発明に係る炭化鉄膜を磁性層 501 として用いることによって、大電流を安定

して流すことが可能なマイクロトランスあるいはマイクロインダクタが得られる。また、磁性層 501 の飽和磁束密度  $B_s$  が大きければ大きいほど透磁率の共鳴点が高周波側にシフトする傾向があるので、2 T を超える飽和磁束密度を有する本発明に係る炭化鉄膜を磁性層 501 に用いたマイクロトランスあるいはマイクロインダクタは、優れた高周波特性をもつことが期待できる。

### 実施例

以下に実施例をあげて本発明をより詳細に説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

#### (実施例 1)

本例では、図 12 に示すスパッタ装置を用い、膜中に含まれる炭素 (C) 含有量が 0 ~ 20 原子% (at%) であり残部鉄 (Fe) からなる膜組成の磁性層 11 を、基体 10 の上にスパッタリング法で直接堆積させた。

図 1 (a) は本例に係る磁性薄膜試料の層構成を示す模式的な断面図であり、10 は基体、11 は磁性層である。

基体 10 としてはガラス基板 (コーニング社製、#7059) を用い、作製する磁性層 11 の膜組成は、成膜に用いた炭化鉄 (Fe-C) 合金からなる第二ターゲット 25 の組成を適宜変更してスパッタすることにより変化させた。図 12 の装置において、炭化鉄膜 ( $\alpha'$ -Fe-C 膜) からなる磁性層 11 を形成する成膜室 21 の到達真空度は  $10^{-7}$  Torr 台に固定し、成膜時には磁場印加手段 40 を用い、基体 39 の成膜面に平行で一方向に磁場 [強度: 30 ~ 50 gauss (G)] を印加した。また、成膜前には、基体 39 を真空中で 200℃、2 時間の加熱処理を行った後、基体 39 を 20℃ まで冷却してからこの温度に保った基体 39 上に所望の組成からなる炭化鉄膜を堆積させた。

なお、本例では真空溶解法で作製した Fe と C からなる合金ターゲットを用いて炭化鉄膜を成膜したが、焼結法で作製した Fe と C からなるターゲット、Fe ターゲット上に C チップを設置した複合ターゲット若しくは Fe ターゲットと C

ターゲットを別個に用いて行うスパッタリング法、または、レーザ蒸着法、イオンビーム法など他の成膜法を実施しても構わない。さらには、C元素を含むプロセスガスとFeターゲットを用い、炭化鉄膜を作製する手法を用いてもよい。

図12は、本例に係る炭化鉄膜を作製する際に用いた直流マグネトロンスパッタ装置を示す模式的な断面図である。

図12に示す装置において、21は成膜室、22は成膜室21の底部の一方の側に設けたバッファ層形成用のカソード、23は成膜室21の底部の他方の側に設けた磁性膜形成用のカソード、24はカソード22の上に設けたバッファ層形成用のFeからなる第一ターゲット、25はカソード23の上に設けた磁性膜形成用のFe-Cからなる第二ターゲット、26、27は各カソード用の絶縁部材、28、29は各カソードに電力を供給する直流電源、30、31は各カソード用のアースシールド、32はシャッタ、33はシャッタの回転手段、34はシャッタの開口部、35は基体ホルダー支持部材、36は基体ホルダー支持部材の回転手段、37は基体の温度制御手段、38は基体ホルダー、39は基体、40は基体の成膜面に平行で一方向をなす磁場を印加する磁場印加手段、41は排気口、42はガス導入口、43が排気手段、44はガス供給源である。

成膜室21は排気口41を介して真空ポンプなどの排気手段43に接続されており、成膜室21の内部空間を所望の真空度に減圧するように構成されている。また、成膜室21はガス導入口42を備えており、ガス供給源44から成膜工程などで用いるプロセスガス、例えばArガスや窒素ガス等をガス導入口42を介して成膜室21の内部空間に供給できる構成を有している。

さらに、図12に示す装置は、成膜室21の内部空間の上方に位置する基体ホルダー38と下方に位置する各カソード22、23との間に位置し、両者を空間的に仕切る役目をはたすシャッタ32を備えている。シャッタ32の中央は成膜室21の底部中央を貫通して設けられた回転軸からなる回転手段33により支持され、回転可能な構成をなしている。シャッタ32は、基体39側から見てカソードが対向する位置に開口部34を備えている。回転手段33でシャッタ32を



回転させることによって、開口部 34 はカソード 22 又はカソード 23 の上空位置に移動な構成となっている。

一方、成膜面をカソード側に向けた状態で基体 39 を保持する機能を備えた基体ホルダー 38 は、基体 39 を加熱処理、冷却処理または定温保持の機能を有する温度制御手段 37 とともに、基体ホルダー支持部材 35 の一端に固定されている。そして、基体ホルダー支持部材 35 の他端は成膜室 21 の天井部中央を貫通して設けられた回転軸からなる回転手段 36 により支持され、回転可能な構成をなしている。

したがって、例えば基体 39 上にバッファ層を形成する場合は、基体 39 とカソード 22 との間にシャッタ開口部 34 が不在の状態にシャッタ 32 の位置を制御し、ガス導入口 42 を介して成膜室 21 の内部空間にプロセスガスを導入し、直流電源 28 から所望の電力をカソード 22 に印加して所定のガス圧で放電を生起させた後、基体 39 をカソード 22 の上空位置となるように回転手段 36 で移動させ、さらに基体 39 とカソード 22 の間にシャッタ開口部 34 が位置するようにシャッタ 32 を回転手段 33 で移動させることにより実施できる。その際、形成する薄膜の厚さは、シャッタ開口部 34 を基体 39 とカソード 22 の間に滞在させる時間と堆積速度などを制御することによって所望の値とする。

以下の表 1 は、本例に係る炭化鉄膜をガラス基板上に作製する際の主な条件である。

「表 1」

項 目	設 定 値
・ 成膜方法	直流マグネトロンスパッタリング法
・ 基体の材質	ガラス（＃ 7 0 5 9）
・ 基体の形状	8 mm 角
・ 基体の表面形状	鏡面加工処理、 $R a < 1 \text{ nm}$
・ 成膜室の到達真空度	$10^{-7}$ Torr 台
・ プロセスガス	Ar ガス

- ・ Ar ガス中の不純物濃度 110ppb以下
- ・ Ar ガス圧 10mTorr (約1.33Pa)
- ・ 基体表面の保持温度 200℃ (前処理)  
20℃ ( $\alpha'$ -Fe-C膜作製時)
- ・ ターゲットの材料 Fe-C (C=0-20at%, 残部Fe)
- ・ ターゲットの直径 4inch
- ・ ターゲットの純度 3N (Fe-C)
- ・ ターゲットと基体との間隔 50mm
- ・ ターゲットへの投入パワー 直流200W (Fe-C)
- ・ 基体に対する磁場印加 印加方向: 基体の成膜面に平行で一方向  
磁場の強さ: 30~50G
- ・ 作製した膜厚 300nm ( $\alpha'$ -Fe-C)
- ・ 成膜速度 0.4nm/sec ( $\alpha'$ -Fe-C)

以下に、本例に係る炭化鉄膜の作製方法について、手順を追って説明する。

以下の括弧付き番号は、その手順を表す。

(a1) 所定の洗浄処理を終えたガラスからなる基体39を基体ホルダー38に取り付けた後、排気手段43を用いて、排気口41から成膜室21の内部空間が $10^{-7}$  Torr台 (但し、1Torr=約1.33Pa) になるまで減圧した。その際、基体ホルダー38がターゲット24の上空となるように配置した。なお、成膜室21はアース電位とした。また、基体ホルダー38の外側に、基体39の成膜面に平行で一方向をなす磁場を印加する手段40を設けた。

(a2) 温度制御手段37により基体ホルダー38を介して基体39を加熱処理することによって、基体39の表面温度を約200℃に加熱・保持した。

(a3) その後、温度制御手段37により基体ホルダー38を介して基体39を20℃まで冷却処理した。

(a4) 基体ホルダー38がターゲット25の上空となるように、回転手段36を用いて移動させた。

(a 5) 成膜室 21 の内部空間にガス導入口 42 より Ar ガスを導入し、マスフローコントローラ (不図示) を用いてガス圧力を 10 mTorr に制御した。

(a 6) 直流電源 29 からカソード 23 に所定の直流電力を印加し、ターゲット 25 を数分間プリスパッタした。その際、基体 39 の側から第二ターゲット 25 が見えない状態にシャッタ 32 を配置した (図 12)。

(a 7) その後、第二ターゲット 25 の真上にシャッタ 32 の開口部 34 がくるように、回転手段 33 を用いてシャッタ 32 を移動させた (不図示)。シャッタ 32 の開閉により、厚さ 300 nm の  $\alpha'$ -Fe-C 膜からなる磁性層 11 を基体 10 上に形成した。その際、 $\alpha'$ -Fe-C 膜の組成は所望の組成からなる Fe-C 合金ターゲットを用いることによって制御した。

なお、本例における  $\alpha'$ -Fe-C 膜の成膜速度 (0.4 nm/sec) は、従来技術で述べた文献 3 の成膜速度 (0.002~0.003 nm/sec) と比べて 130~200 倍の数値であり、量産的にも十分に対応できる速さである。

(a 8) 磁性層 11 を形成した後、カソード 23 に印加していた直流電力をゼロに戻し、放電を停止させた。

(a 9) 成膜室 21 への Ar ガス導入を停止してから、窒素ガスを導入し成膜室 21 が大気圧に達した後、成膜室 21 から作製した試料を取り出した。

以上の工程 (a 1) ~ (a 9) によって作製した層構成が基体 10 /  $\alpha'$ -Fe-C 膜の磁性層 11 からなる試料 [図 1 (a)] を、試料 S1 と呼称する。

#### (実施例 2)

本例では、図 1 (a) の層構成に代えて、図 1 (b) の層構成すなわちに基体 10 上に Fe 膜からなるバッファ層 12 を介して  $\alpha'$ -Fe-C 膜の磁性層 11 を設けた試料 (試料 S2 と呼称する) をスパッタリング法により形成した点が実施例 1 と異なる。本試料の作製には、実施例 1 と同様に図 12 のスパッタ装置を用いた。

Fe 膜 12 の作製には高純度 4N の Fe ターゲットを用いた。 $\alpha'$ -Fe-C

膜11とFe膜12を形成する成膜室の到達真空度は $10^{-7}$  Torr台に固定し、成膜時には基体10の成膜面に平行で一方向に磁場（強度：30～50 G）を印加した。また、成膜前には、基体10を真空中で200℃、2時間の加熱処理を行い、次に温度が200℃の基体10上にFe膜12を形成した後、基体10を20℃まで冷却してからこの温度に維持された基体10のFe膜からなるバッファ層12上に所望の組成からなる $\alpha'$ -Fe-C膜からなる磁性層11を堆積させた。

他の点は実施例1と同様とした。

以下の表2は、本例に係る $\alpha'$ -Fe-C膜からなる磁性層11をFe膜からなるバッファ層12を介してガラスからなる基体10上に作製する際の主な条件である。

「表2」

項 目	設 定 値
・ 成膜方法	直流マグネトロンスパッタリング法
・ 基体の材質	ガラス（#7059）
・ 基体の形状	8mm角
・ 基体の表面形状	鏡面加工処理、 $Ra < 1\text{nm}$
・ 成膜室の到達真空度	$10^{-7}$ Torr台
・ プロセスガス	Arガス
・ Arガス中の不純物濃度	110ppb以下
・ Arガス圧	10mTorr
・ 基体表面の保持温度	200℃（前処理） 200℃（Fe膜作製時） 20℃（ $\alpha'$ -Fe-C膜作製時）
・ ターゲットの材料	Fe, Fe-C（C=0-20at%, 残部Fe）
・ ターゲットの直径	4 inch
・ ターゲットの純度	4N（Fe）, 3N（Fe-C）
・ ターゲットと基体との間隔	50mm

- ・ターゲットへの投入パワー 直流 200 W (Fe, Fe-C)
- ・基体に対する磁場印加 印加方向：基体の成膜面に平行で一方向  
磁場の強さ：30～50 G
- ・作製した膜厚 5 nm (Fe)、300 nm ( $\alpha'$ -Fe-C)
- ・成膜速度 0.05 nm/sec (Fe)、  
0.4 nm/sec ( $\alpha'$ -Fe-C)

以下に、本例に係る磁性膜の作製方法について、手順を追って説明する。

以下の括弧付き番号は、その手順を表す。

(b1) 所定の洗浄処理を終えたガラスからなる基体39を基体ホルダー38に取り付けた後、排気手段43を用いて、排気口41から成膜室21の内部空間が $10^{-7}$  Torr台になるまで減圧した。その際、基体ホルダー38がFeからなる第一ターゲット24の上空となるように配置した。なお、成膜室21はアース電位とした。また、基体ホルダー38の外側に、基体39の成膜面に平行で一方向をなす磁場を印加する磁場印加手段40を設けた。

(b2) 温度制御手段37により基体ホルダー38を介して基体39を加熱処理することによって、基体39の表面温度を約200℃に加熱・保持した。

(b3) 成膜室21の内部空間にガス導入口42よりArガスを導入し、マスフローコントローラ（不図示）を用いてガス圧力を10mTorrに制御した。

(b4) 直流電源28からカソード22に所定の直流電力を印加し、第一ターゲット24を数分間プリスパッタした。その際、基体39の側からターゲット24が見えない状態にシャッター32を配置した（不図示）。

(b5) その後、第一ターゲット24の真上にシャッター32の開口部34がくるように、回転手段33を用いてシャッター32を移動させた（図12）。次に、シャッター32の開閉により、厚さ5nmのFe膜からなるバッファ層を基体39上に形成した。

(b6) バッファ層を形成した後、カソード22に印加していた直流電力をゼロに戻し、放電を停止させた。その後、Arガスの供給も停止し、成膜室21の内

部空間を $10^{-7}$  Torr台になるまで減圧後、この状態で温度制御手段37により基体ホルダー38を介して基体39を20℃まで冷却処理した。

(b7) 基体ホルダー38が第二ターゲット25の上空となるように、回転手段36を用いて移動させた。

(b8) 成膜室21の内部空間にガス導入口42よりArガスを導入し、マスフローコントローラ(不図示)を用いてガス圧力を10mTorrに制御した。

(b9) 直流電源29からカソード23に所定の直流電力を印加し、第二ターゲット25を数分間プリスパッタした。その際、基体39の側から第二ターゲット25が見えない状態にシャッタ32を配置した(図12)。

(b10) その後、第二ターゲット25の真上にシャッタ32の開口部34がくるように、回転手段33を用いてシャッタ32を移動させた(不図示)。シャッタ32の開閉により、厚さ300nmの $\alpha'$ -Fe-C膜からなる磁性層をFe膜上に形成した。その際、 $\alpha'$ -Fe-C膜の組成は所望の組成からなるFe-C合金ターゲットを用いることによって制御した。

(b11) 磁性層を形成した後、カソード23に印加していた直流電力をゼロに戻し、放電を停止させた。

(b12) 成膜室21へのArガス導入を停止してから、窒素ガスを導入し成膜室21が大気圧に達した後、成膜室21から作製した試料を取り出した。

以上の工程(b1)～(b12)により、層構成が基体10/Feバッファ層12/ $\alpha'$ -Fe-C膜の磁性層11からなる試料S2[図1(b)]を作製した。

図2は、実施例1で作製した代表的な $\alpha'$ -Fe-C膜の磁性層からなる試料S1の結晶構造を、Co-K $\alpha$ 線を用いたX線回折法により調べた結果を示すグラフである。

図2に示すように、上記構成において $\alpha'$ 相を主たる相とする炭化鉄膜11とは、X線回折法により、 $\alpha'$ 相の(002)面からの回折線すなわち $\alpha'$ (002)を主に含み観測されることによって識別されるものである。図2において、(a)は炭化鉄膜の(002)面からの回折線が主たるピークをなし、その高角

側にブロードな肩が観測される場合であり、(b)は炭化鉄膜の(002)面からの回折線のみが観測される場合である。

つまり、本発明に係る $\alpha'$ 相を主たる相とする炭化鉄膜11は、図2(a)から明らかなように、 $\alpha'$ 相の(002)面からの回折線と、その他の回折線すなわち高角側に観測されるブロードな肩部分(斜線部)とから構成されるものである。

そして、上記その他の回折線が消失し単結晶が形成された場合には、炭化鉄膜11は $\alpha'$ 相単相のみから構成され、図2(b)に示すような $\alpha'$ 相の(002)面からの回折線のみが観測される。

図3は、実施例1で作製した $\alpha'$ -Fe-C膜の組成が異なる試料S1の結晶構造を、Co-K $\alpha$ 線を用いたX線回折法により調べた結果を示すグラフである。但し、図3は図2(b)に示した $\alpha'$ 相の(002)面からの回折線のみが観測される試料を取り上げて示したものである。図4は、成膜に用いたFe-C合金ターゲットの炭素含有量(xと表記)と作製した炭化鉄膜中の炭素含有量との関係を示すグラフである。したがって、図3の中に示した炭素含有量すなわちx=0.79、2、3、4、6(at%)は、使用したターゲットに含まれるCの数値である。

図3より、作製した炭化鉄膜の試料は、 $\alpha'$ 相の(002)面からの回折線すなわち $\alpha'$ (002)のみ観測されることが分かった。この回折線は $2\theta$ が $70^\circ \sim 77^\circ$ の範囲で得られ、 $2\theta$ が $20^\circ \sim 115^\circ$ の範囲では他の回折線は観測されなかった。そして、この $\alpha'$ (002)からの回折線は、膜中の炭素含有量が増えるにつれて $2\theta$ の低角側にシフトする傾向が認められ、このシフトは(002)格子空間の増加を示唆している。これは、図4に示すX線光電子分光分析法の一つであるESCA(Electron spectroscopy for chemical analysis)の解析結果すなわち炭素が増えることを反映している。なお、図4のグラフでは、ターゲットの炭素含有量(横軸)に比べて作製した炭化鉄膜中のC含有量(縦軸)の方が大きい傾向を示しているが、この組成ずれは成膜条件によって変わる

ものであり、上述した $\alpha'$ -Fe-C膜の結晶構造には何ら影響するものではない。

なお、図3および図4は実施例1の試料S1を用いて説明したが、実施例2の試料S2すなわち基体10上にFeからなるバッファ層12を介して $\alpha'$ -Fe-C膜からなる磁性層11を設けた構成からなる試料でも同様の結果が確認された。

図5は、シュルツ反射法により測定した $\alpha'$ -Fe-C膜の格子定数 $a$ 、 $c$ およびこれらの数値から求めた軸比 $c/a$ を膜中の炭素含有量に対してプロットしたグラフである。図5より、格子定数 $c$ は炭素含有量の増加に伴って増える傾向が認められた。これに対して、格子定数 $a$ は炭素含有量の増加に伴い僅かに減少する傾向を示し、 $a$ はおよそ2.83でほぼ一定値であった。また、 $c/a$ の値がおよそ1.06程度となることから、得られた $\alpha'$ -Fe-C膜は体心正方構造(bct構造: body-centered tetragonal structure)をもつことが明らかとなった。

なお、図5は実施例1の試料S1を用いて説明したが、実施例2の試料S2すなわち基体上にFeバッファ層を介して $\alpha'$ -Fe-C膜からなる磁性層を設けた構成からなる試料でも同様の結果が確認された。

また、上述した $\alpha'$ -Fe-C膜における炭素含有量に対する格子定数の変化は、従来知られている $\alpha'$ 相のFe-N膜における窒素含有量に対する格子定数の変化と同じ傾向であることも分かった。

図6は、実施例1で作製した試料S1のうち膜中の炭素含有量が4at%の $\alpha'$ -Fe-C膜のヒステリシス曲線である。(a)はbct構造の $\langle 001 \rangle$ 方向、(b)はbct構造の $\langle 100 \rangle$ 方向、(c)はbct構造の $\langle 110 \rangle$ 方向の結果を示す。本測定には振動試料型磁力計(VSM)を用いた。この $\alpha'$ -Fe-C膜は、図6(a)より $c$ 軸が磁化困難軸であり、図6(b)、(c)より $c$ 面が磁化容易面となっていることが分かる。



ところで、ある方向に磁化する際に必要なエネルギーは、以下の(1)式で表記される磁化(ヒステリシス)曲線の積分値

$$E = \int_0^{M_s} H dM \quad (1)$$

つまり、磁化曲線とy軸で囲まれる面積で表すことができる。

以下、図7および図8に示す実施例1で作製した $\alpha'$ -Fe-C膜の磁化(ヒステリシス)曲線に基づき具体的に説明する。図7はbct構造の $\langle 001 \rangle$ 方向または $\langle 100 \rangle$ 方向に磁場を印加した場合を、図8はbct構造の $\langle 100 \rangle$ 方向または $\langle 110 \rangle$ 方向に磁場を印加した場合を示すグラフである。ここで、横軸は印加磁場Hであり、縦軸は印加磁場Hにおける磁化M(H)を飽和磁化 $M_s$ で割って規格化した数値である。

従って、本発明に係る $\alpha'$ -Fe-C膜の場合、c面内からc軸方向へ磁化を向けるために必要なエネルギーは、 $\langle 001 \rangle$ 方向および $\langle 100 \rangle$ 方向に磁場Hを印加した場合の磁化曲線の間の面積SAより求められる(図7)。但し、図7は反磁場(demagnetization field)の補正を行っていない。なお、図中に記載した $H_{sat}$  ( $=23 \text{ kOe}$ )は、 $15 \text{ kOe}$ までの印加磁場で得られた磁化曲線を用いて単純に推定した飽和磁場(saturation field)の値である。

同様に、c面内での磁化を回転させるために必要なエネルギーは、簡易的に $\langle 100 \rangle$ 方向および $\langle 110 \rangle$ 方向に磁場Hを印加した場合の磁化曲線で挟まれる面積SBより求めることが可能である(図8)。

これらの面積比が、すなわちエネルギーの比となる。

図7では、上記の推定した飽和磁場 $H_{sat}$ に反磁場補正(約 $21 \text{ kOe}$ )をすると、 $\langle 001 \rangle$ 方向の磁化曲線が飽和する磁場は $2 \text{ kOe}$ 程度と求まる。次いで、 $\alpha'$ -Fe-C膜の飽和磁化はFeの値とほぼ同じ $1700 \text{ emu/cm}^3$ と仮定して計算すると、c面からc軸方向へ磁化を向けるために必要なエネルギー、すなわち面積SAは「 $1/2 * 1700 * 2000$ 」となる。ここで、記号\*

は積を表す。

一方、図8から、 $\langle 110 \rangle$ 方向の磁化曲線は $M(H)/M_s = 0.75$ 付近までは急激に磁化が増え、その後は穏やかに増加し、400 Oe程度で飽和することが分かる。これに対して、 $\langle 100 \rangle$ 方向の磁化曲線は、数Oe程度の小さな磁場ですぐに飽和している。従って、c面内での磁化を回転させるために必要なエネルギー、すなわち面積SBは「 $1/2 * 1700 * (1 - 0.75) * 400$ 」となる。

従って、上述した2つの面積は、

$$\begin{aligned} SA : SB &= (1/2 * 1700 * 2000) : (1/2 * 1700 * (1 - 0.75) * 400) \\ &= 100 : 5 \end{aligned} \quad (2)$$

となることから、SAはSBよりほぼ2桁大きいことが分かる。

換言すれば、上述した図7に基づく結果より、この $\alpha'$ -Fe-C膜は、自発磁化がc面内で磁化容易軸方向からはずれるときに要する磁気異方性エネルギーに比べて、c面からc軸方向に振れるときに要する磁気異方性エネルギーの方が2桁以上大きいことが明らかとなった。さらには、この $\alpha'$ -Fe-C膜は、磁化困難軸が膜面に対して略垂直方向を、磁化容易面が膜面に対して略水平方向をなしていることも確認された。

この傾向は、炭素含有量が0～20 at %の $\alpha'$ -Fe-C膜では変わらなかった。また、実施例2の試料S2すなわち基体上にFeバッファ層を介して $\alpha'$ -Fe-C膜からなる磁性層を設けた構成からなる試料でも、上述した実施例1の試料S1と同様の結果が確認された。

図9は、実施例1で作製した試料S1の炭素含有量と飽和磁束密度Bsとの関係を示すグラフである。このグラフより、炭素含有量を15 at %以下とした $\alpha'$ -Fe-C膜は、現在採用されているヘッド磁極材料の飽和磁束密度1.5 Tを上回る飽和磁束密度を実現できることが分かる。さらに、 $\alpha'$ -Fe-C膜の

炭素含有量を12at%以下とした場合、2Tを越える飽和磁束密度が安定して得られることが判明した。

図10は、実施例1で作製した試料S1の炭素含有量と保磁力 $H_c$ との関係を示すグラフである。図10において、○印は<100>方向、●印は<110>方向の結果を示す。炭素を含まない鉄膜（横軸0）は50e以上の高い保磁力を持っているのに対し、0.5at%という微量の炭素を鉄に添加することによって保磁力は著しく低下し、20e以下になる。さらに炭素含有量を増やし1at%以上にすると、10eを割る優れた低保磁力の膜が得られる。この傾向は炭素含有量が12at%まで持続する。ただし、15at%付近までなら、保磁力は20e以下に抑えられる。

以上の結果より、本発明に係る炭化鉄膜は、0.5at%以上15at%以下の炭素と残部鉄からなる組成のとき、1.5Tを越える飽和磁束密度と20e以下の保磁力を備えた軟磁気特性を有することが分かった。さらに膜中の炭素含有量を1at%以上12at%以下とした場合は、2Tを越える飽和磁束密度と10e以下の保磁力が実現できるのでより好ましい。

ここでは、実施例1の試料S1すなわち基体上に直接炭化鉄膜を設けた試料について詳述したが、上述した傾向は、実施例2の試料S2、すなわち基体上に鉄バッファ層を介して炭化鉄層を設けた構成からなる試料でも同様であった。ただし、試料S2において基体上に設けた鉄膜は（200）面を表面とする薄膜であり、この鉄膜上に炭化鉄を堆積させることにより上述した各種磁気特性がより一層安定して得られることから、試料S1より試料S2の層構成の方がより好ましい。

また、本発明に係る炭化鉄膜に適当な量のコバルトを第三元素として含有させると、コバルトを含まない炭化鉄膜より飽和磁束密度を10%程度増加させることができる。例えば、組成がFe-30at%Co-4at%Cからなる磁性膜は、Fe-4at%Cからなる磁性膜に比べて1.12倍の飽和磁束密度を有する。このように、本発明に係る炭化鉄膜は適当量のコバルトを添加することによ

って、より一層高い飽和磁束密度をもつことができる。

(実施例 3)

本例では、Fe-4 at % C からなる磁性膜をスパッタ法で形成する際に、プロセスガスとして Ar ガスに代えて (Ar + N<sub>2</sub>) の混合ガスを用いた点が実施例 1 と異なる。Ar ガスに対する N<sub>2</sub> ガスの比率を変えることにより、含有される窒素量の異なる炭化鉄膜 (試料 S 3 と呼称する) を形成した。

表 3 は、本例で作製した磁性膜の窒素含有量と磁歪である。磁歪は、片持ち梁法で測定した数値であり、 $\lambda_{\parallel}$  は膜面に平行方向の値、 $\lambda_{\perp}$  は膜面に垂直方向の値を示す。表 3 には、 $\lambda_{\parallel}$  から  $\lambda_{\perp}$  を引いた数値を示した。

「表 3」

窒素含有量 [at %]	$\lambda_{\parallel} - \lambda_{\perp}$ [ $\times 10^{-6}$ ]
0	-4.1
2	-4.5
4	-1.3
6	-0.6
7	+0.4
8	+1.4
10	+2.3

表 3 より、次の点が明らかになった。

- ① 窒素を含まない炭化鉄膜は  $10^{-6}$  台で負の磁歪をもつ。
- ② 膜中の窒素含有量が増えるにつれて、磁歪は負から正に変化する。
- ③ Fe-4 at % C からなる磁性膜に窒素を添加した場合は、窒素含有量が 6 ~ 7 at % の付近で磁歪が一桁小さくなり  $10^{-7}$  台の磁歪をもつ磁性膜が得られる。

以上の結果から、本発明に係る炭化鉄は膜中に適当量の窒素を含むことにより

、 $10^{-7}$ 台という非常に小さな磁歪を有する薄膜となることが確認できた。ただし、このように磁歪が小さくなる膜中の窒素量は、炭化鉄の炭素含有量によって変化する値であり、必ずしも6～7 at%付近に限定されるものではない。

#### (実施例4)

本例では、図12に示すスパッタ装置を用い、膜中に含まれる炭素(C)含有量が0～20原子%(at%)であり残部鉄(Fe)からなる膜組成の磁性層11を、基体10の上にスパッタリング法で直接堆積させる際に、Arガスに代えて(Ar+N<sub>2</sub>)の混合ガスを用いた点が実施例1と異なる。

その際、Arガスに対するN<sub>2</sub>ガスの比率を変えることにより、含有される窒素量の異なる炭化鉄膜(試料S4と呼称する)を形成した。

図16は、 $\alpha'$ -Fe-C膜に含有させる窒素量を変えて、C含有量と磁気異方性定数Kuとの関係性を調べた結果を示すグラフである。図16において、●印はN含有量が零の場合( $\alpha'$ -Fe-Cと表記する)、○印はN含有量が2 at%の場合、△印はN含有量が3 at%の場合、▲印はN含有量が6 at%の場合、■印はN含有量が9 at%の場合を示す。

図16より、以下の点が明らかとなった。

(1) C含有量が同一の $\alpha'$ -Fe-C膜(例えば4 at%)で比較すると、膜中N含有量が増えるにつれて結晶磁気異方性定数Kuは負から正の方向にシフトする。

(2)  $\alpha'$ -Fe-C膜(C含有量が0～8 at%)は適当量の窒素を含むことにより、Kuを一桁小さな数値とすることができる。具体的には、N含有量を2～3 at%とすることで、 $10^5$  [erg/cm<sup>3</sup>] 台に抑えた窒化Fe-C膜( $\alpha'$ -Fe-C-N膜と表記する)が得られる。

つまり、上述した実施例3および実施例4の結果より、本発明に係る $\alpha'$ -Fe-C膜はその中にNを適宜含有させることによって、その磁歪や結晶磁気異方性定数を制御することができることが分かる。そして、この実験結果は、C含有量とN含有量とを最適化することにより、 $10^{-7}$ 台の磁歪と $10^5$  [erg/cm<sup>3</sup>] 台の結晶

磁気異方性定数とを兼ね備えた磁性薄膜が形成できることを示唆している。

(実施例 5)

本例では、Fe-4at% C からの磁性膜をスパッタ法で形成する際に、鉄バッファ層を設けた基体の温度を 0℃～200℃の範囲で変化させた点が実施例 2 と異なる。ただし、鉄バッファ層を作製する時の基体温度は 200℃に固定した。他の点は実施例 2 と同様として図 1 (a) に示す層構成の試料 S 5 を作製した。

実施例 1 の結果でも述べたように、本発明に係る炭化鉄膜は (002) 面からの回折線のみ観測されることによって特定される。

図 11 は、炭化鉄膜を作製するときの基体温度と得られた炭化鉄膜の (002) 面の X 線強度との関係を示すグラフである。縦軸の X 線強度は、各基体温度で作製した炭化鉄膜の (002) 面からの回折線強度  $I$  を、(002) 面からの回折線強度が最大となった基体温度 25℃の数値  $I_{\max}$  で割った値で示した。

図 11 より、基体温度を 5℃以上 100℃以下とした場合、 $I_{\max}$  の 8 割以上となる X 線強度が観測されることから、所望の  $\alpha'$ -Fe-C 膜がかなり安定して得られることが分かった。これに対して、基体温度が 125℃から 200℃のときは、温度が増すにつれて (002) 面からの回折線強度が急激に小さくなることから、作製した炭化鉄膜が所望の結晶構造から乖離する傾向にあると考えた。また、基体温度を 10℃以上 70℃以下とした場合は、X 線強度が  $I_{\max}$  の 9 割以上になることから、所望の  $\alpha'$ -Fe-C 膜がより一層安定して得られるのでより好ましい。

(実施例 6)

本例では、実施例 1 で示した炭化鉄からの磁性薄膜を記録ヘッドの上部磁極および下部磁極に用い、HDD 用の記録再生分離型磁気ヘッド 50 を作製した。

図 13 は、本例に係る磁気ヘッド 50 の構造の一例を示す斜視図であり、その一部分を切断した状態で表している。図 13 において、51 は磁気抵抗素子、5

2は下部シールド層、53は上部シールド層を兼ねる下部磁極、54はコイル、55は上部磁極、56は基板、57は電極、58は再生ヘッド、59は記録ヘッドである。

図13の磁気ヘッド50では、磁気抵抗素子51を下部シールド層52と上部シールド層53で挟んだ部分が再生ヘッド58を構成する。また、上部シールド層53は記録ヘッドの下部磁極53も兼ねており、コイル54を下部磁極53と上部磁極55で挟んだ部分が記録ヘッド59を構成する。

記録ヘッド59を構成する上部磁極55および下部磁極53に、本発明に係るスパッタ法で作製した炭化鉄膜、例えば膜組成が $\text{Fe}-4\text{at}\%\text{C}$ からなる $\alpha'$ - $\text{Fe}-\text{C}$ 膜を配置する。ただし、炭化鉄膜の軟磁気特性を安定して得る目的から炭化鉄膜の下に鉄バッファ層（不図示）を設けても構わない。また、上記炭化鉄膜には、飽和磁化を増加させるコバルトや磁歪を $10^{-7}$ 台に抑制できる窒素を、膜中に適宜含有させてもよい。

基板56はアルミナ・チタンカーバイドからなり、磁気ヘッド50のスライダとして機能する部材である。下部シールド層52はアルミナからなる被覆層（不図示）で表面コートされた上にスパッタ法で作製されたパーマロイ（ $\text{Fe}-80\text{wt}\%\text{Ni}$ 合金）膜からなる。

磁気抵抗素子51としては、パーマロイ膜からなるフリー層／銅膜からなる導電層／パーマロイ膜からなるピン層／イリジウム・マンガン膜からなる反強磁性層を順に積層した構造体（不図示）を用いる。

再生ヘッド58を構成する磁気抵抗素子51の電極57や記録ヘッド59を構成するコイル54には、銅膜を用いる。

図示はしていないが、各層間のギャップ材としてはスパッタ法で作製したアルミナからなる絶縁膜を配置し、上部磁極55の上には同様にスパッタ法で作製したアルミナからなる被覆層を設ける。

このように構成された磁気ヘッド50は、2Tを越える高い飽和磁束密度の炭化鉄膜を記録ヘッド59の上部磁極55や下部磁極53の全部あるいは一部に用

いることによって、これらの磁性膜が磁氣的に過度に飽和することなく強い磁界強度および高い磁界勾配を発生することができるので、線記録密度の向上が図れる。また、飽和磁化が2 Tを越える炭化鉄膜からなる磁極材料は、トラック密度の向上ももたらす。すなわち、図13に示した記録ヘッド59のトラック幅Wが狭くなると記録ヘッドから漏れる磁界の強度も小さくなる傾向にあるが、磁極材料の飽和磁束密度が高ければ漏れ磁界の強度を高く維持できる。したがって、本発明に係る炭化鉄からなる磁性薄膜を磁極材料とした記録ヘッドは、従来より狭トラック化も達成できる。

さらには、高い線記録密度を達成するには図13に示したギャップgを狭くする必要があるが、そのためには下部磁極53の上に設けた薄膜化を図った絶縁膜（不図示）の上に強固に上部磁極55を形成することが大切である。本発明に係る炭化鉄からなる磁性薄膜は、作製した膜の密着性や緻密性に優れるスパッタ法で安定して形成できることから、上述した狭ギャップ化にも十分対応できる薄膜を作製するのに好適な磁極材料である。

ゆえに、本発明に係る炭化鉄からなる磁性薄膜を記録ヘッドの磁極材料に用いた磁気ヘッド50は、従来より保磁力の高い磁気記録媒体に低ノイズでかつ高い分解能で磁気信号を書き込むことができるので、より一層高い面記録密度を実現する。

従来、飽和磁束密度が1.5～1.8 T程度の磁極材料からなる記録ヘッドは保磁力が2500 Oe程度までの媒体に書き込む能力があったが、これ以上の保磁力をもつ媒体には十分に書き込むことは困難な状況にあった。これに対して、本発明に係る飽和磁束密度が2 Tを越える炭化鉄膜を磁極材料に用いた記録ヘッド59を備えた磁気ヘッド50は2500 Oe以上の高い保磁力有する媒体に対しても十分な書き込み能力をもつことが確認された。

#### （実施例7）

本例では、実施例6で述べた本発明に係る炭化鉄膜を磁極に用いた磁気ヘッド



を搭載した磁気記録装置の一例である、図14および図15に示したハード・ディスク装置（HDD、hard disk drive）70について説明する。

図14は本発明に係る磁気記録装置の一例を示す側断面図であり、図15は図14に示す磁気記録装置の平断面図である。図14および図15において、50は磁気ヘッド、70はハード・ディスク装置、71は筐体、72は磁気記録媒体、73はスペーサ、74はスピンドル、75はモータ、76は軸受け、77は回転軸、78はスイングアーム、79はサスペンションである。

本例に係るHDD70は、実施例5で示した炭化鉄膜を記録ヘッド59の上部磁極55および下部磁極53に用いた記録再生分離型磁気ヘッド50を搭載している。

本例のHDD70は、円盤状の磁気記録媒体（HD、hard disk）72や磁気ヘッド50などを収納する内部空間を備えた直方体形状の筐体71が外形をなしており、筐体71の内部には複数枚の磁気記録媒体72がスペーサ73と交互にスピンドル74に挿通されて設けられている。また、筐体71にはスピンドル74の軸受け（不図示）が設けられ、筐体71の外部にはスピンドル74を回転させるために用いるモータ75が配置されている。この構成により、全ての磁気記録媒体72は、スペーサ73によって磁気ヘッド50の入る間隔をあけて複数枚重ねた状態で、スピンドル74の周回りに回転自在とされている。

筐体71の内部であって磁気記録媒体72の側方位置には、軸受け76によってスピンドル74と平行に支持されたロータリ・アクチュエータと呼ばれる回転軸77が配置されている。回転軸77には複数個のスイングアーム78が各磁気記録媒体72の間の空間に延出するように取り付けられている。各スイングアーム78の先端には、その上下位置にある各磁気記録媒体72の表面に傾斜して向かう方向に固定された、細長い三角板状のサスペンション79を介して磁気ヘッド50が取り付けられている。

磁気ヘッド50は、書き込み専用の本発明に係る炭化鉄膜を磁極材料としたインダクティブ素子部を備えた記録ヘッド59と読み込み専用の磁気抵抗素子51

を備えた再生ヘッド58とを一体化した記録再生分離型磁気ヘッドであり、磁気記録媒体72の表面と対向するスライダの一面に搭載されている。磁気ヘッド50を備えたスライダは、磁気記録媒体72の表面と対向する一面とは反対側の面が、サスペンション79の先端部側に設けられたジンバル部材によって弾性支持されている。

上記構成によれば、磁気記録媒体72を回転させ、磁気ヘッド50をスイングアーム78の移動により磁気記録媒体72の半径方向に動かすことができるので、磁気ヘッド50は磁気記録媒体72上の任意の位置に移動可能となっている。

上述した構成のハード・ディスク装置70では、磁気記録媒体72を回転させるとともに、スイングアーム78を移動させて磁気ヘッド50を磁気記録媒体72上の任意の位置に移動させ、磁気記録媒体72を構成している磁気記録層（不図示）に磁気ヘッド50を構成する記録ヘッド59が発生した磁界を作用させることで磁気記録媒体72に所望の磁気情報を書き込むことができる。また、スイングアーム78を移動させて磁気ヘッド50を磁気記録媒体72上の任意の位置に移動させ、磁気記録媒体72を構成している磁気記録層（不図示）からの漏れ磁界を磁気ヘッド50を構成する再生ヘッド58で検出することで磁気情報を読み出すことができる。

このように磁気情報の読出と書込を行う場合に、磁気ヘッド50を構成する記録ヘッド59の上部磁極55と下部磁極53が先に説明した如く優れた軟磁気特性を有する $\alpha'$ -Fe-C膜で構成されているならば、従来の磁気ヘッドでは書き込みを行った際に未飽和となってしまうような保磁力の高い磁気記録媒体72にも、十分に安定した書き込みを行うことが可能となる。

また、保磁力の高い磁気記録媒体72を利用できるということは、磁気ヘッドの浮上走行時に再生ヘッド58の読出素子すなわち磁気抵抗素子51が受ける漏れ磁界を強くできることを意味する。つまり、本発明に係る磁気ヘッドを構成する再生ヘッド58は磁気記録媒体72からを従来より強い信号を受け取ることができるので、本例に係るハード・ディスク装置70はS/N比の良好な記録再生特性を実現できる。

さらには、上述したように、本発明に係る炭化鉄膜は2 Tを越える飽和磁束密度をもつことから従来より狭トラック化が図れるとともに、スパッタ法で作製できるので狭ギャップ化にも対応できる。したがって、本発明に係る炭化鉄膜を磁極に採用した記録ヘッド59を用いて磁気情報を磁気記録媒体72に書き込むことができる磁気記録装置70は、従来の装置に比べて高記録密度化を達成することができる。

なお、上記実施例では、移動する磁気記録媒体として基板と平行方向に磁化容易軸を有する面内磁気記録媒体を用いた場合について具体的に説明したが、本発明に係る炭化鉄膜を記録ヘッドの磁極材料に採用したことによる上記の作用・効果は、基板と垂直方向に磁化容易軸を有する垂直磁気記録媒体の場合でも、ほぼ同様に得られる。したがって、本発明に係る磁気記録装置の一例であるハード・ディスク装置70は、磁気記録媒体72として面内媒体を搭載した面内磁気記録装置であっても良いし、磁気記録媒体72として垂直媒体を搭載した垂直磁気記録装置であっても構わない。

さらには、図14と図15に基づいて先に説明したハード・ディスク装置70は磁気記録装置の一例を示すものであるので、磁気記録装置に搭載する磁気記録媒体の枚数は1枚以上であれば任意の数として構わない。また、スイングアーム78の形状や駆動方式も図面に示すものに限定されず、例えばリニア駆動方式など、他の方式を採用してもよいことは言うまでもない。

#### 産業上の利用の可能性

以上説明したように本発明によれば、前述した特定結晶形態である $\alpha'$ 相単相からなる炭化鉄を用いたことにより、高記録密度化に対応可能な磁気特性、すなわち2 T以上の飽和磁束密度と2 Oe以下の保磁力を兼ね備えた良好な軟磁気特性を有する磁性薄膜を得ることができる。

前述した特定結晶形態である $\alpha'$ 相単相からなる炭化鉄を用いたことにより、成膜中および成膜後にほとんど加熱処理を行わない成膜工程でも、上記の優れた軟磁気特性が安定して得られる磁性薄膜の製造方法が提供できる。

前記の優れた軟磁気特性を有する炭化鉄膜を記録ヘッドの上部磁極や下部磁極に採用した磁気ヘッドであるならば、従来より強い磁界強度および高い磁界勾配を発生できるため、線記録密度の向上が図れる。また、磁極をなす炭化鉄膜の飽和磁束密度が高いので漏れ磁界の強度を高く維持できるため、本発明に係る炭化鉄膜を用いた磁気ヘッドは狭トラック化にも貢献できる。

また、前記の優れた軟磁気特性を有する炭化鉄膜を備えた磁気ヘッドを搭載した磁気記録装置であるならば、従来は磁気信号が十分に書き込めなかった高保磁力の磁気記録媒体と組み合わせて使用することにより、線記録密度とともにトラック密度の増大も図れ、さらにはS/N比も高い記録再生システムが構築できるので、大記憶容量で記録再生特性にも優れた磁気記録装置の提供が可能となる。

なお、本発明に係る炭化鉄膜からなる磁性薄膜を磁極材料とした磁気ヘッドは、面内磁気記録方式の構成に限定されず、垂直磁気記録方式の構成であっても構わない。

また、本発明に係る炭化鉄膜からなる磁性薄膜を、面内磁気記録媒体を構成する硬磁性膜からなる記録層の上に用いたり、あるいは垂直磁気記録媒体を構成する硬磁性膜からなる記録層の下に用いることで、それぞれ高記録密度化に貢献する媒体の提供が可能となる。

さらに、本発明に係る炭化鉄膜からなる磁性薄膜を構成の少なくとも一部に用いることで、従来より優れた諸特性、例えばエネルギー積や周波数、電流密度などにおいて一段と優れた特性を有する各種の磁気デバイス、具体的は、エクステンジ磁石あるいはスピントランジスタ磁石、磁界センサ、高周波受動デバイス、マイクロトランスあるいはマイクロインダクタ、を提供できる。

## 請求の範囲

1.  $\alpha'$  相を主たる相とし、少なくとも炭素と鉄を構成元素とする炭化鉄膜であることを特徴とする磁性薄膜。
2. 前記炭化鉄膜は  $\alpha'$  相単相からなることを特徴とする請求項 1 に記載の磁性薄膜。
3. 前記炭化鉄膜は、X線回折法あるいは電子線回折法により  $\alpha'$  相の (0 0 2) 面からの回折ピークが主たるピークとして観測されることを特徴とする請求項 1 に記載の磁性薄膜。
4. 前記炭化鉄膜は、体心正方構造を備え、c 軸が磁化困難軸、c 面が磁化容易面をなしていることを特徴とする請求項 1 に記載の磁性薄膜。
5. 前記炭化鉄膜は、自発磁化が c 面内で磁化容易軸方向からはずれるときに要する磁気異方性エネルギーに比べて、c 面から c 軸方向に振れるときに要する磁気異方性エネルギーの方が 2 桁以上大きいことを特徴とする請求項 4 に記載の磁性薄膜。
6. 前記磁化困難軸は膜面に対して略垂直方向を、前記磁化容易面は膜面に対して略水平方向をなしていることを特徴とする請求項 4 に記載の磁性薄膜。
7. 前記炭化鉄膜は、0.5 at % 以上 15 at % 以下の炭素と残部鉄からなることを特徴とする請求項 1 に記載の磁性薄膜。
8. 前記炭化鉄膜は、1 at % 以上 12 at % 以下の炭素と残部鉄からなることを特徴とする請求項 1 に記載の磁性薄膜。
9. 前記炭化鉄膜は、コバルトを第三元素として含むことを特徴とする請求項 1 に記載の磁性薄膜。
10. 前記炭化鉄膜は、窒素を第三元素として含むことを特徴とする請求項 1 に記載の磁性薄膜。
11. 前記炭化鉄膜は、該炭化鉄膜の原子間距離と略同一の原子間距離を具備する薄膜上に配設されたことを特徴とする請求項 1 に記載の磁性薄膜。
12. 前記薄膜を構成する主たる元素は、前記炭化鉄膜と格子定数が略同一であることを特徴とする請求項 11 に記載の磁性薄膜。

13. 前記薄膜は、(200)面を表面とする鉄膜であることを特徴とする請求項11に記載の磁性薄膜。

14. 前記薄膜を構成する主たる元素は、Ag、Au、Pd、Pt、Rh、Al、Ir、Ruから選択される1つ以上の元素であることを特徴とする請求項11に記載の磁性薄膜。

15. 前記炭化鉄膜は、結晶磁気異方性定数 $K_u$ が負であることを特徴とする請求項1に記載の磁性薄膜。

16. 減圧空間内に配置した基体上に、スパッタリング法、真空蒸着法、CVD法、イオンビーム蒸着法、レーザ蒸着法のいずれかの成膜法を用いて、少なくとも炭素と鉄を構成元素とし、 $\alpha'$ 相を主たる相とする炭化鉄膜を形成する工程を具備したことを特徴とする磁性薄膜の製造方法。

17. 前記炭化鉄膜を形成する際に、前記基体の表面温度を5℃以上100℃以下とすることを特徴とする請求項16に記載の磁性薄膜の製造方法。

18. 前記炭化鉄膜を形成する際に、前記基体の表面温度を10℃以上70℃以下とすることを特徴とする請求項16に記載の磁性薄膜の製造方法。

19. 前記炭化鉄膜を形成する工程の前に、

前記基体を減圧空間内で熱処理する工程、

減圧空間内で熱処理された基体上に、スパッタリング法、真空蒸着法、CVD法、イオンビーム蒸着法、レーザ蒸着法のいずれかの成膜法を用いて、前記炭化鉄膜の原子間距離と略同一の原子間距離を具備する薄膜を形成する工程、及び、前記薄膜を設けた基体を少なくとも100℃以下に冷却する工程、を具備したことを特徴とする請求項16に記載の磁性薄膜の製造方法。

20. 前記炭化鉄膜を形成する工程は、

前記炭化鉄膜の形成用の母材源として、少なくとも炭素と鉄からなる合金若しくは焼結母材又は炭素からなる母材と鉄からなる母材とを組合せた複合母材と、不活性ガスからなるプロセスガスとを用い、炭化鉄膜を基体上に堆積させることを特徴とする請求項16に記載の磁性薄膜の製造方法。

21. 前記炭化鉄膜を形成する工程は、

前記炭化鉄膜の形成用の母材源として、少なくとも鉄からなる母材と、少なく

とも構成元素として炭素を含む反応性ガスからなるプロセスガスとを用い、炭化鉄膜を基体上に堆積させることを特徴とする請求項16に記載の磁性薄膜の製造方法。

22. 前記合金若しくは焼結母材として0.5at%以上15at%以下の炭素と残部鉄からなる組成の材料を用いることを特徴とする請求項20に記載の磁性薄膜の製造方法。

23.  $\alpha'$ 相を主たる相とし、少なくとも炭素と鉄を構成元素とする炭化鉄膜であることを特定する手段としてX線回折法を用いることを特徴とする磁性薄膜の評価方法。

24.  $\alpha'$ 相を主たる相とし、少なくとも炭素と鉄を構成元素とする炭化鉄膜であることを特定する手段として電子線回折法を用いることを特徴とする磁性薄膜の評価方法。

25. 請求項1乃至15のいずれか1項に記載の炭化鉄膜からなる磁性薄膜を記録ヘッドの磁極材料の少なくとも一部に用いたことを特徴とする磁気ヘッド。

26. 前記記録ヘッドが面内磁気記録用であることを特徴とする請求項25に記載の磁気ヘッド。

27. 前記記録ヘッドが垂直磁気記録用であることを特徴とする請求項25に記載の磁気ヘッド。

28. 請求項25に記載の磁気ヘッドを用い、移動する磁気記録媒体に磁気的に情報を記録することを特徴とする磁気記録装置。

29. 前記磁気記録媒体が、基板と平行方向或いは垂直方向に磁化容易軸を有することを特徴とする請求項28に記載の磁気記録装置。

30. 請求項1乃至15のいずれか1項に記載の炭化鉄膜からなる磁性薄膜を、面内磁気記録媒体を構成する記録層として機能する硬磁性膜の上に設けたことを特徴とする磁気デバイス。

31. 前記磁性薄膜と前記硬磁性膜との間に非磁性膜からなる中間層を設けたことを特徴とする請求項30に記載の磁気デバイス。

32. 請求項1乃至15のいずれか1項に記載の炭化鉄膜からなる磁性薄膜を、垂直磁気記録媒体の記録層として機能する硬磁性膜の下に設けたことを特徴と

する磁気デバイス。

33. 前記磁性薄膜と前記硬磁性膜との間に非磁性膜からなる中間層を設けたことを特徴とする請求項32に記載の磁気デバイス。

34. 請求項1乃至15のいずれか1項に記載の炭化鉄膜からなる磁性薄膜を、エキスチェンジ磁石を構成する軟磁性層として用いたことを特徴とする磁気デバイス。

35. 請求項1乃至15のいずれか1項に記載の炭化鉄膜からなる磁性薄膜を、スピントランジスタ磁石を構成する軟磁性層として用いたことを特徴とする磁気デバイス。

36. 請求項1乃至15のいずれか1項に記載の炭化鉄膜からなる磁性薄膜を、磁界センサを構成する伝送線路の少なくとも一部に用いたことを特徴とする磁気デバイス。

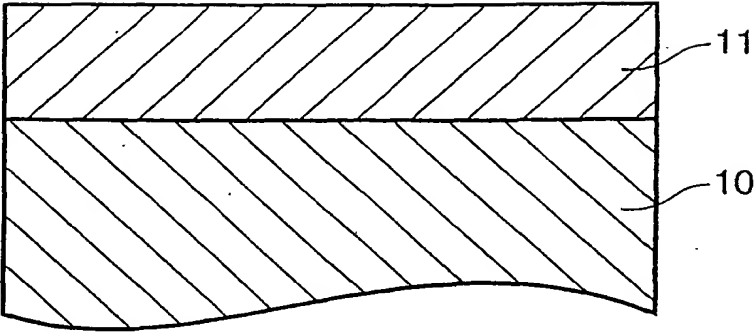
37. 請求項1乃至15のいずれか1項に記載の炭化鉄膜からなる磁性薄膜を、高周波受動デバイスを構成する伝送線路の少なくとも一部に用いたことを特徴とする磁気デバイス。

38. 請求項1乃至15のいずれか1項に記載の炭化鉄膜からなる磁性薄膜を、マイクロトランスあるいはマイクロインダクタを構成する磁性膜の少なくとも一部に用いたことを特徴とする磁気デバイス。

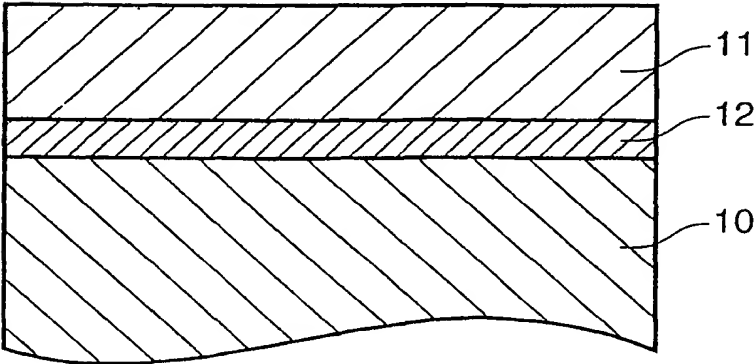


図 1

(a)



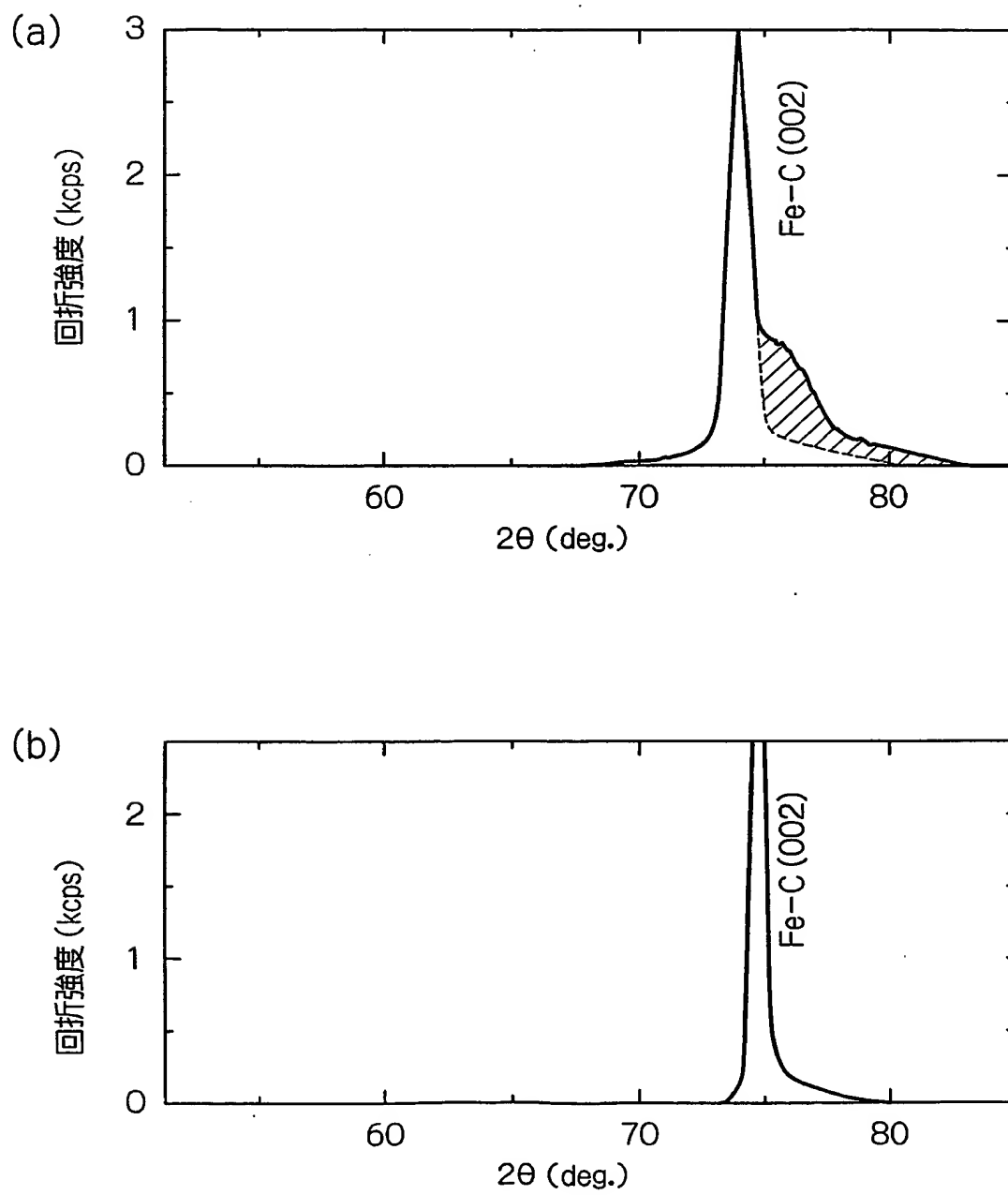
(b)



BEST AVAILABLE COPY

2/20

図 2



3/20

図 3

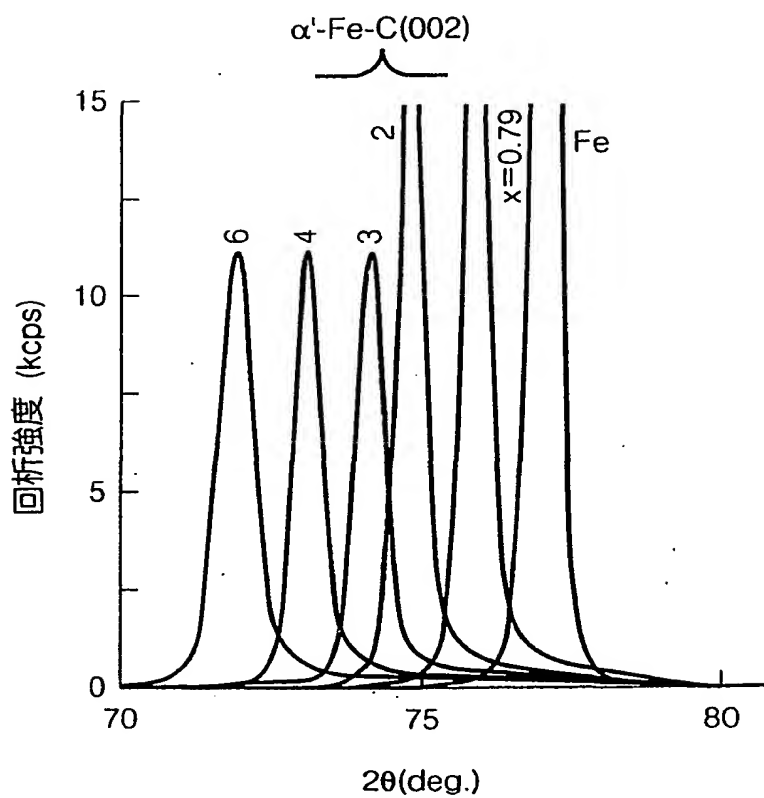
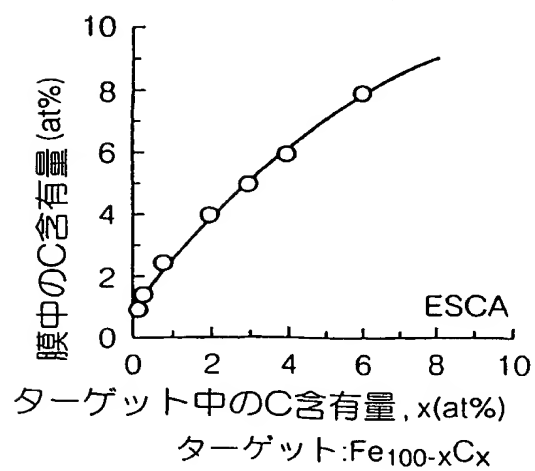
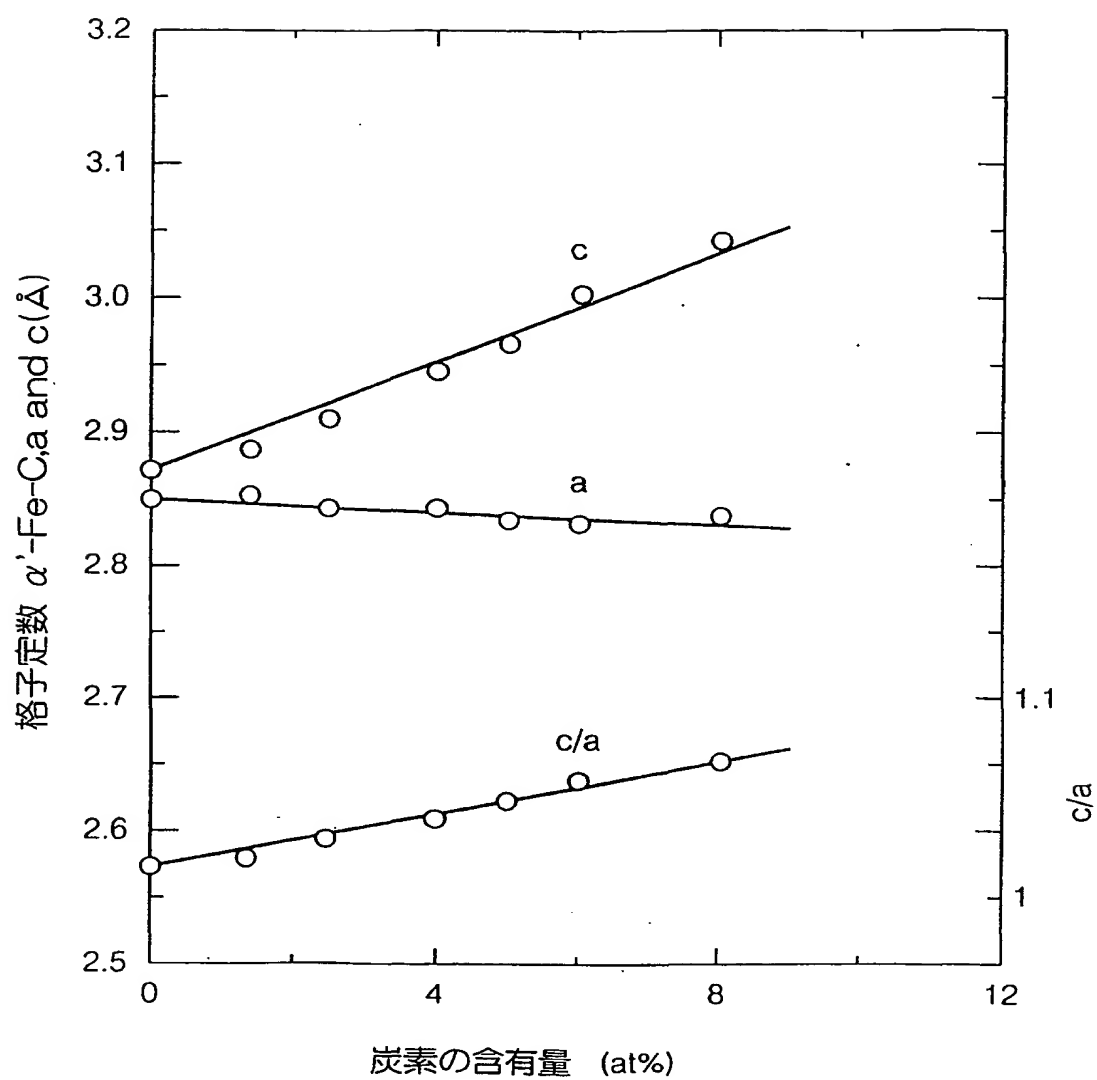


図 4



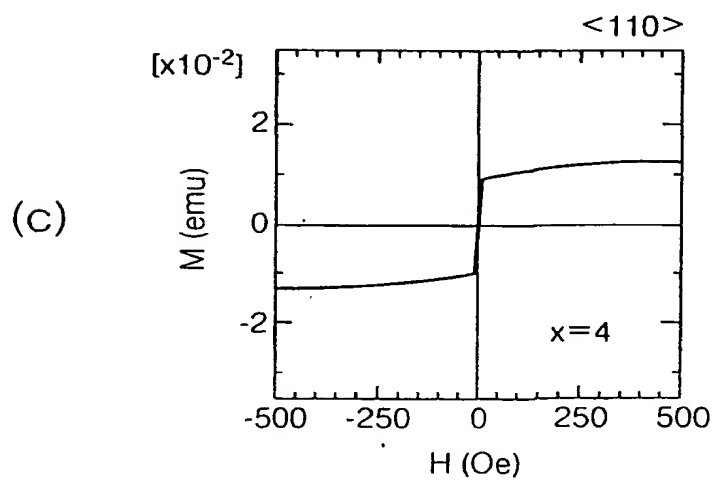
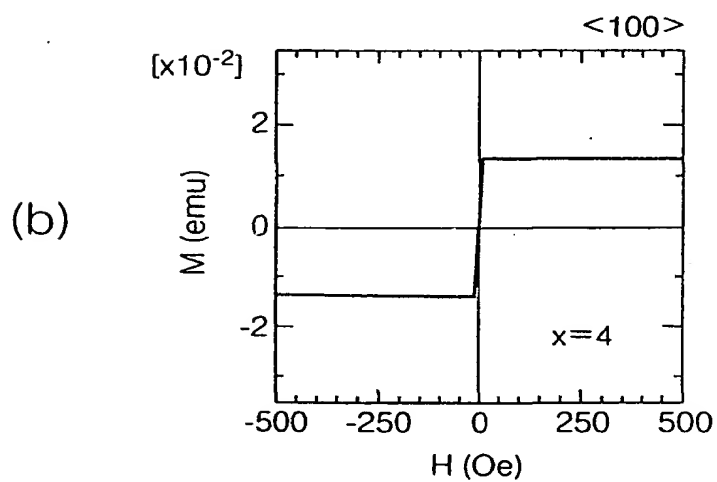
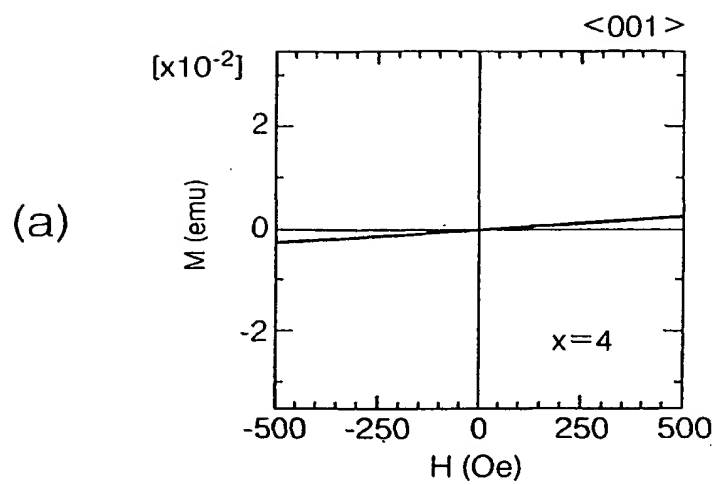
4/20

図 5



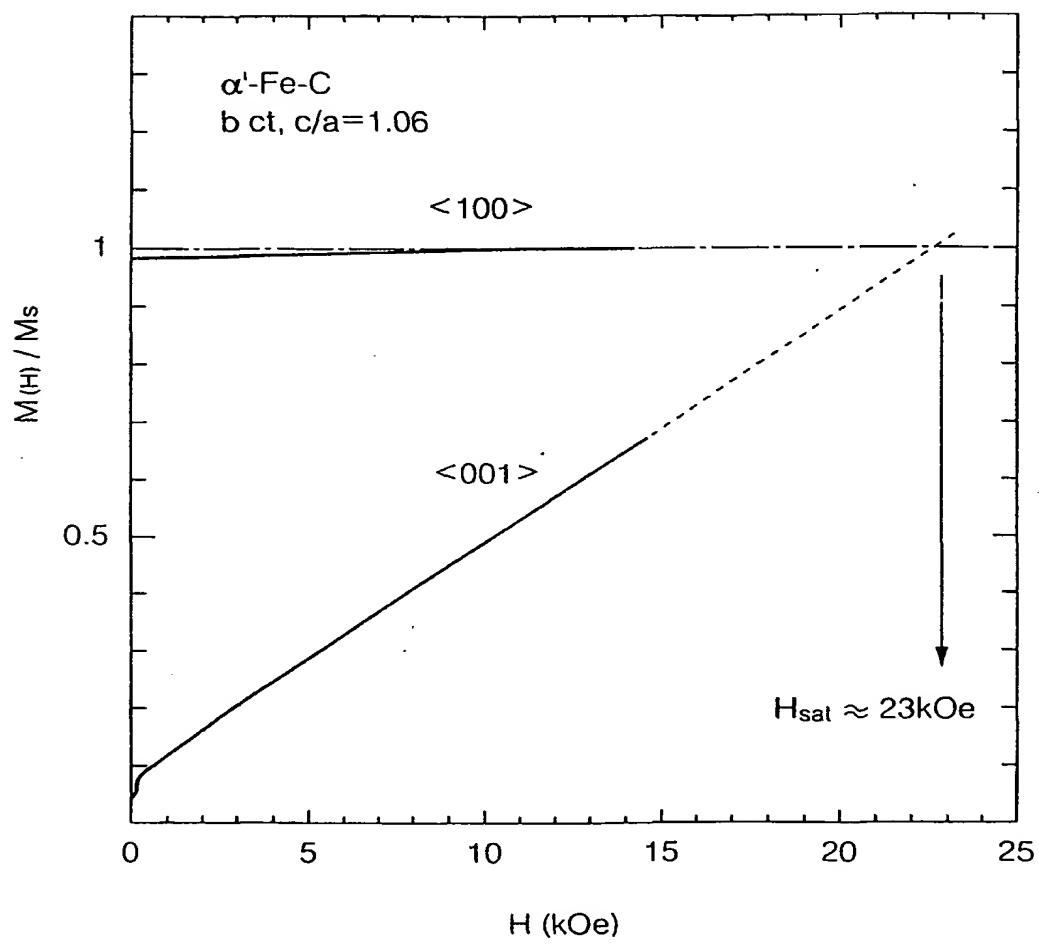
5/20

図 6



6/20

図 7



7/20

図 8

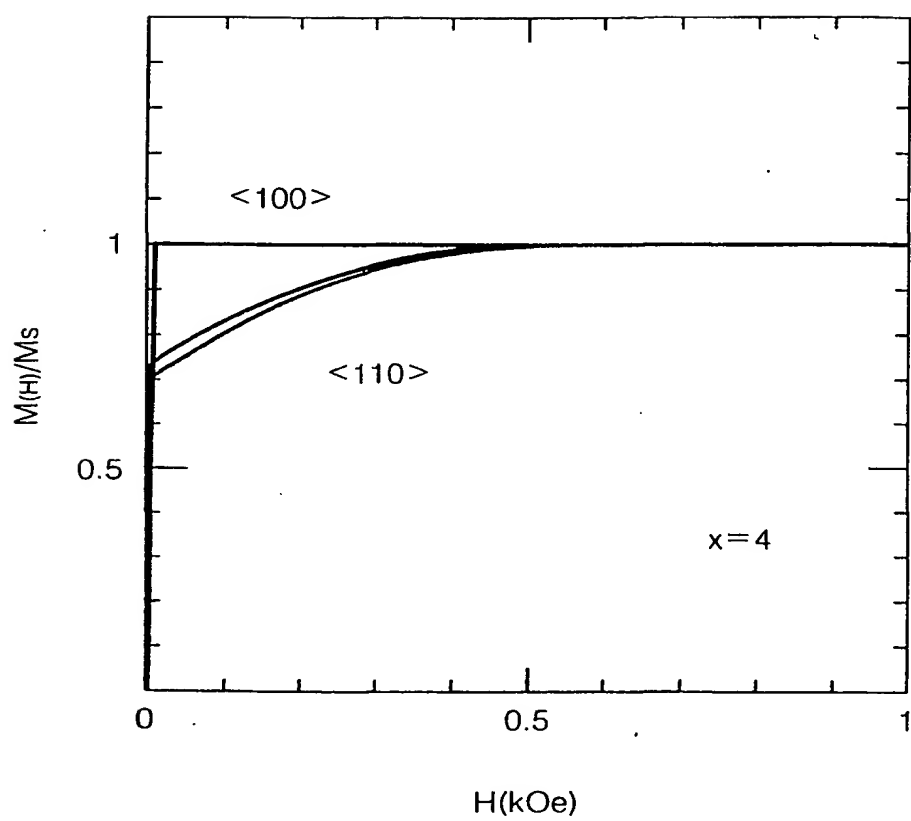


図 9

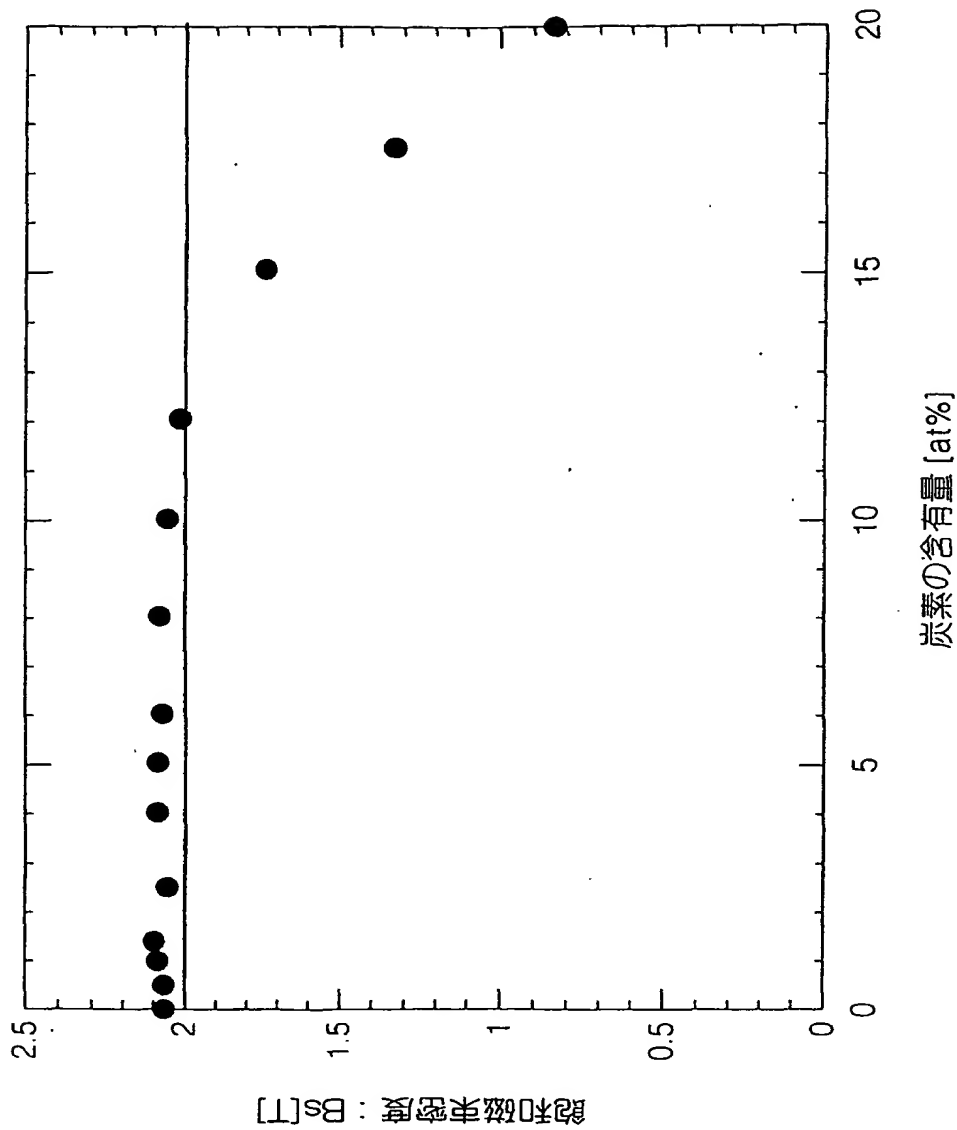
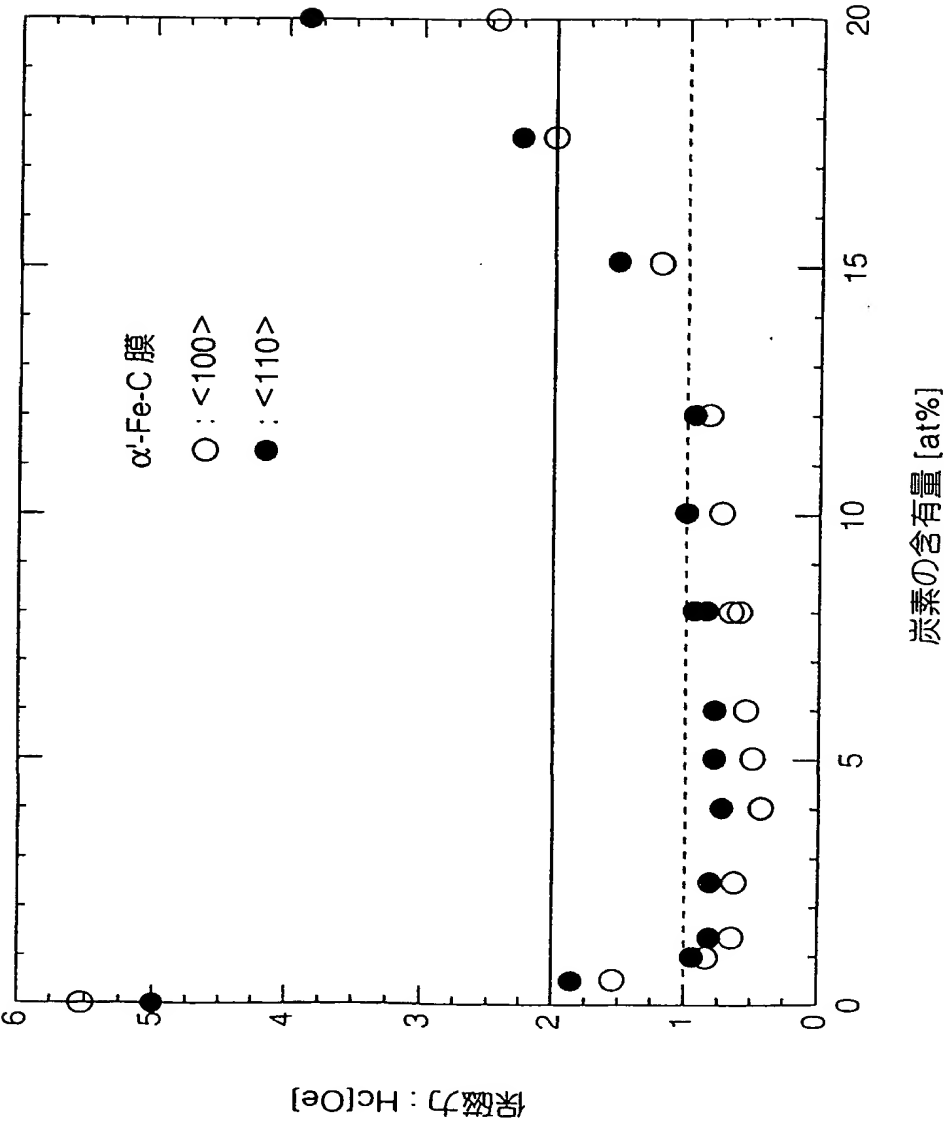


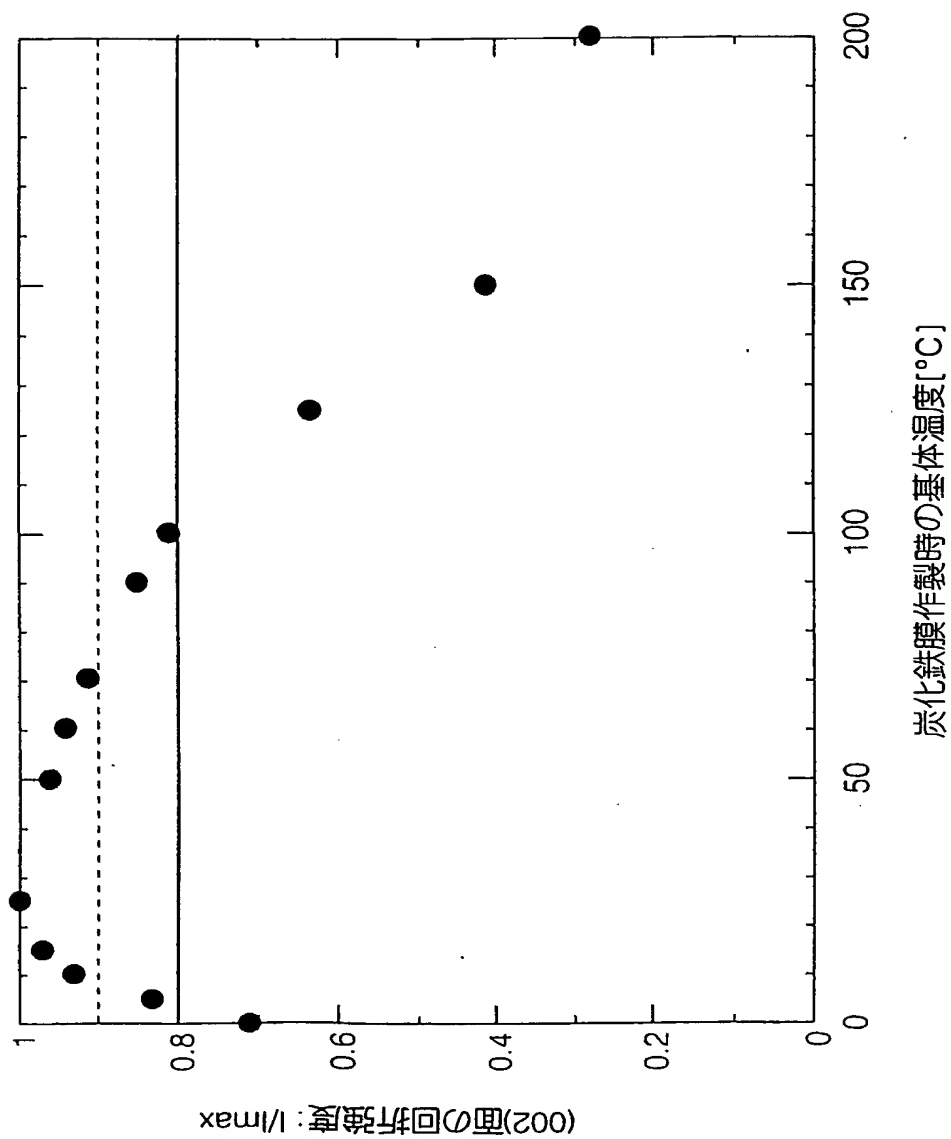


図 10



10/20

図 11



11/20

図 12

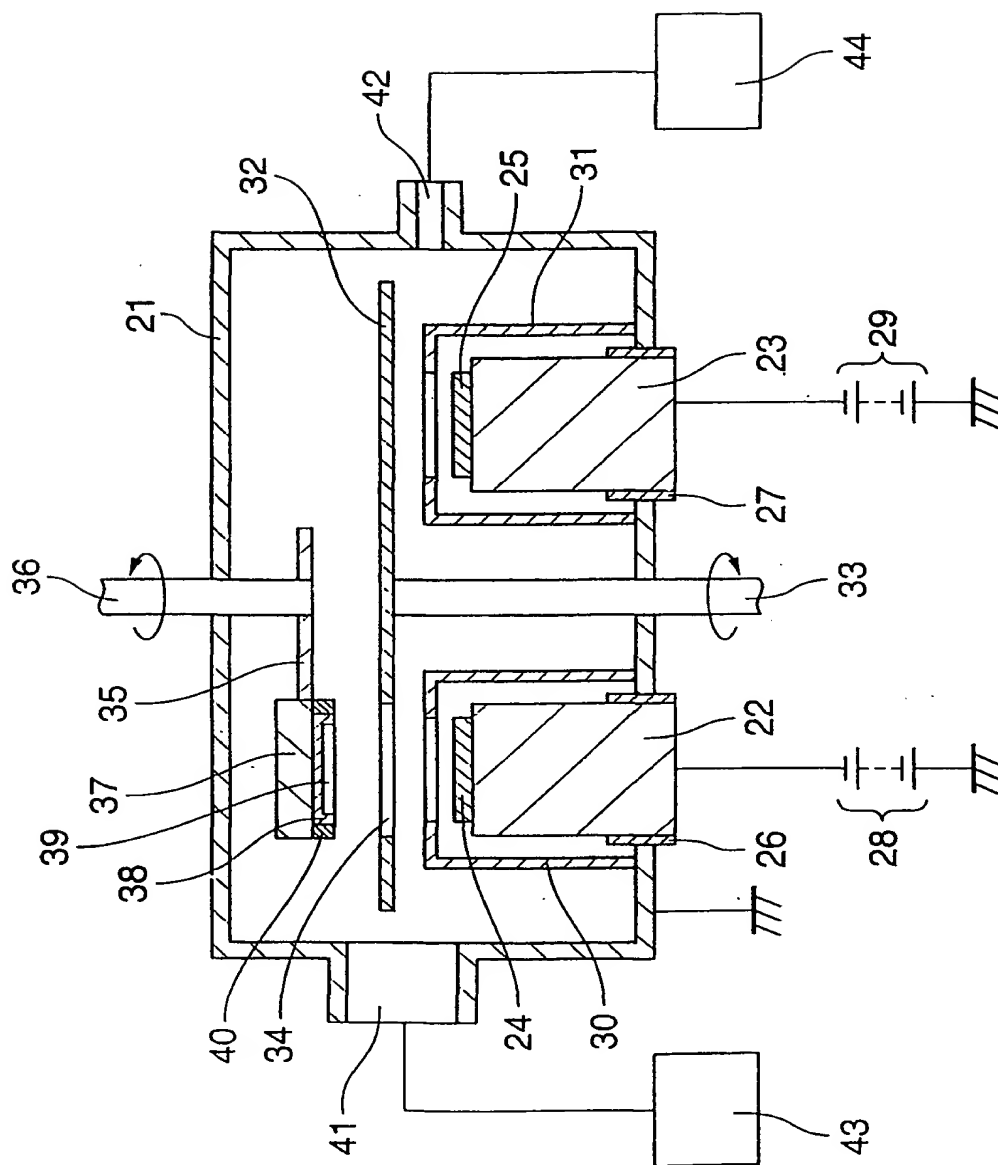
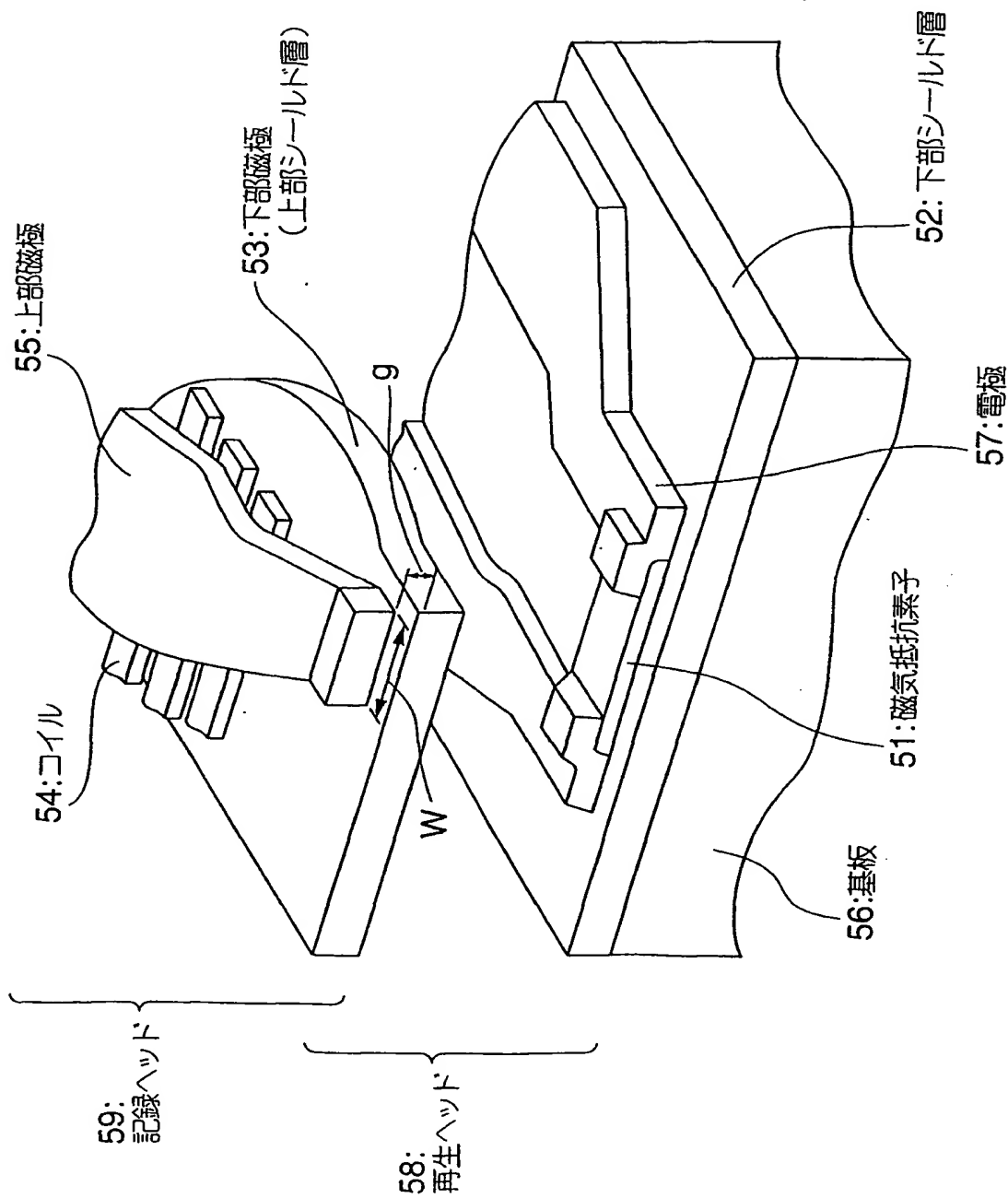


図 13



13/20

図 14

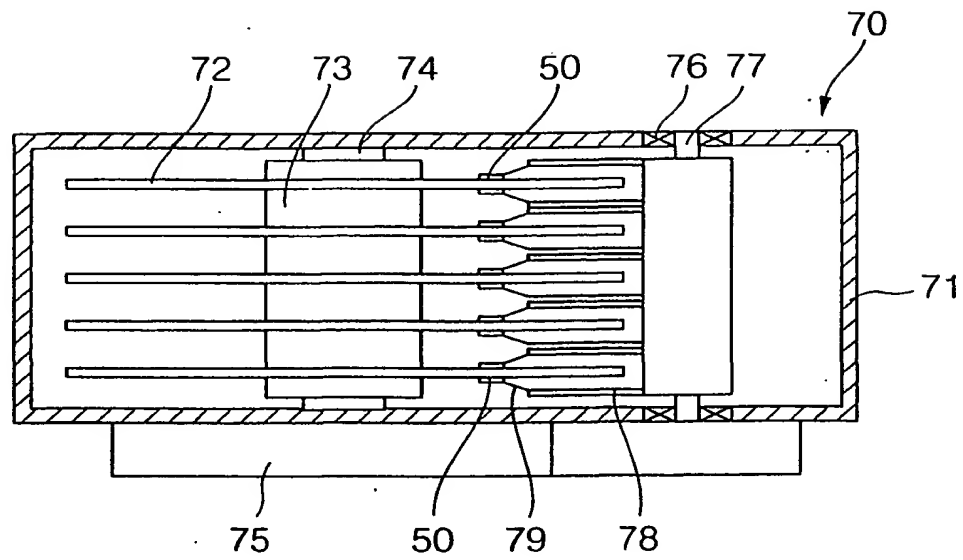
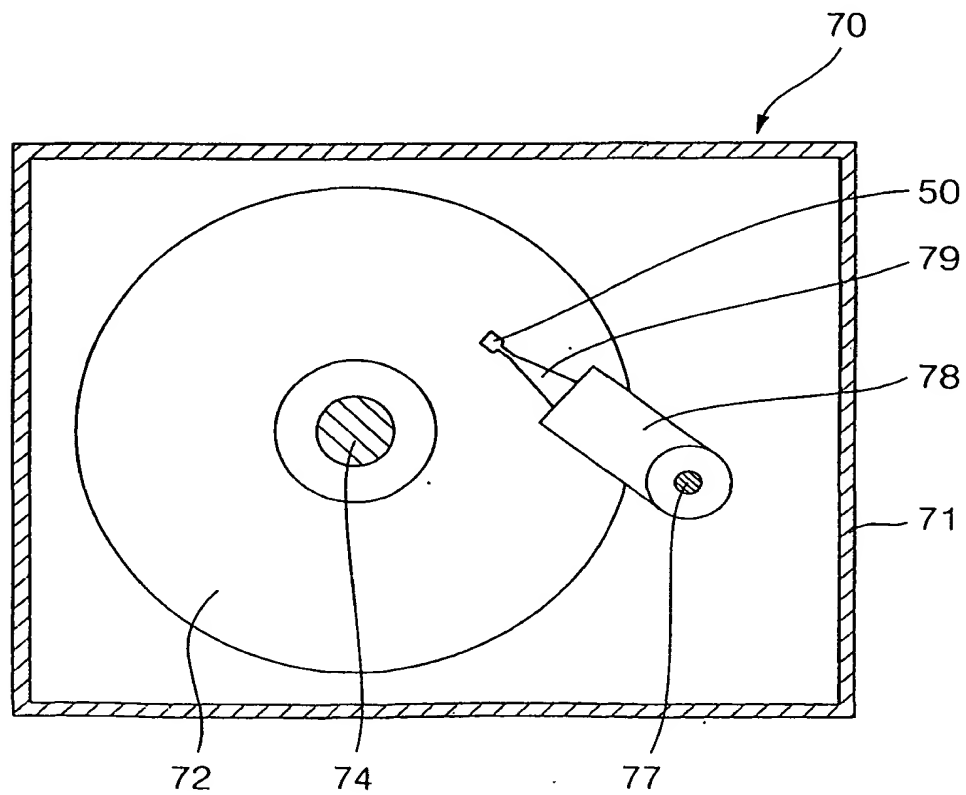


図 15



14/20

図 16

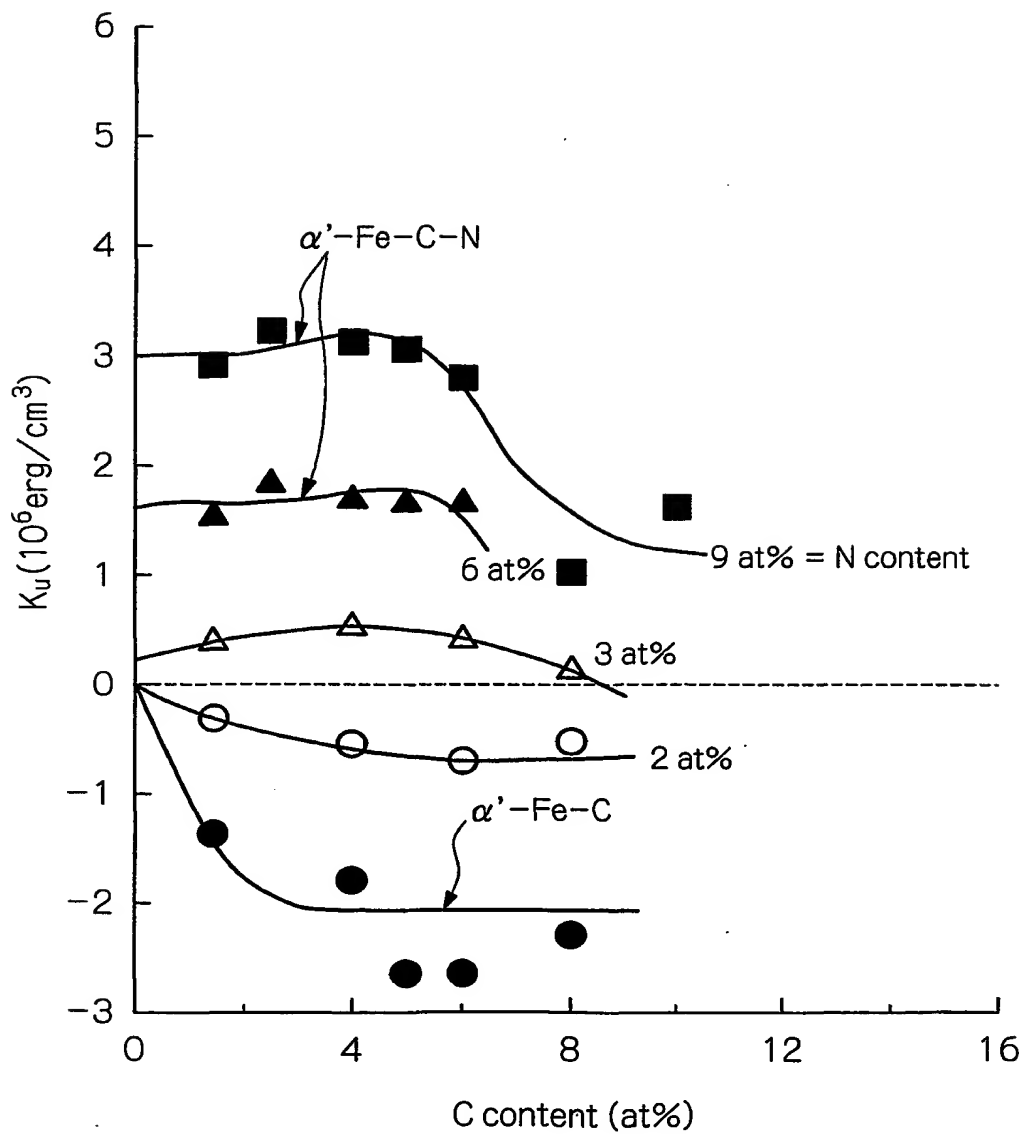


図 17

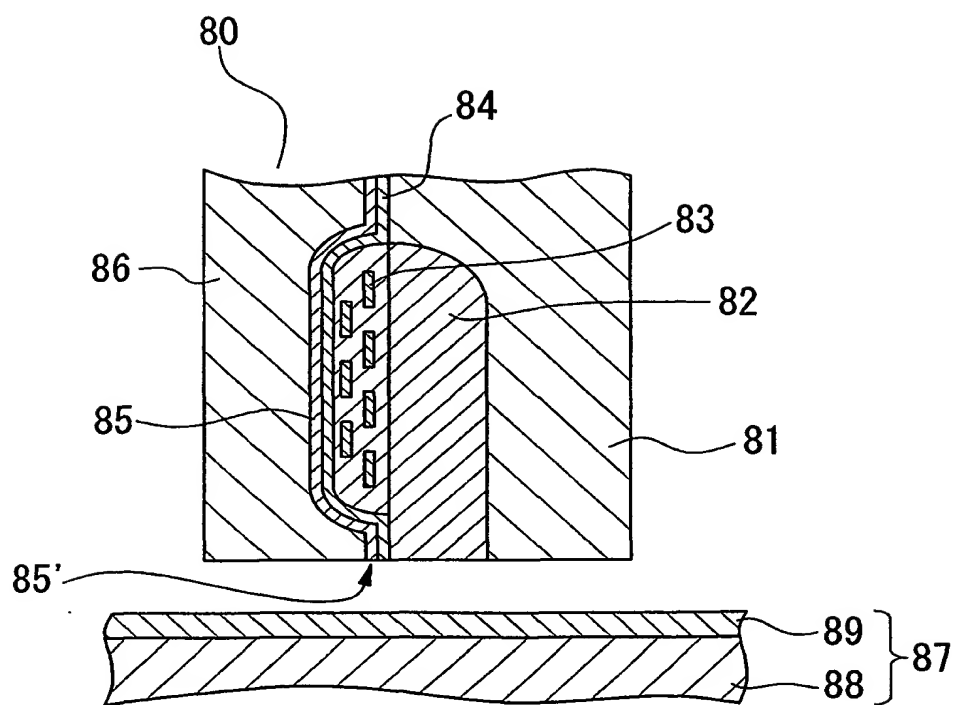


図 18

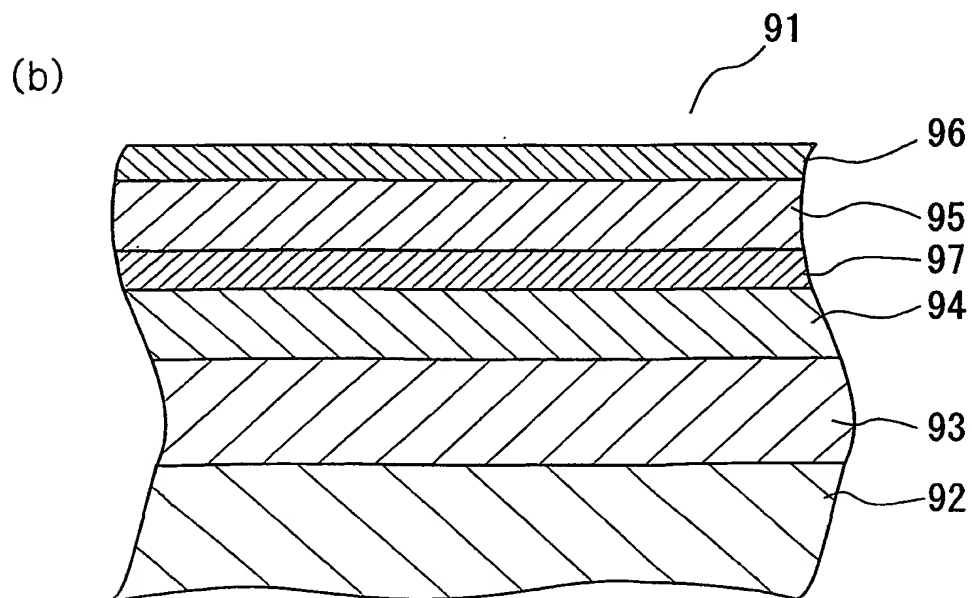
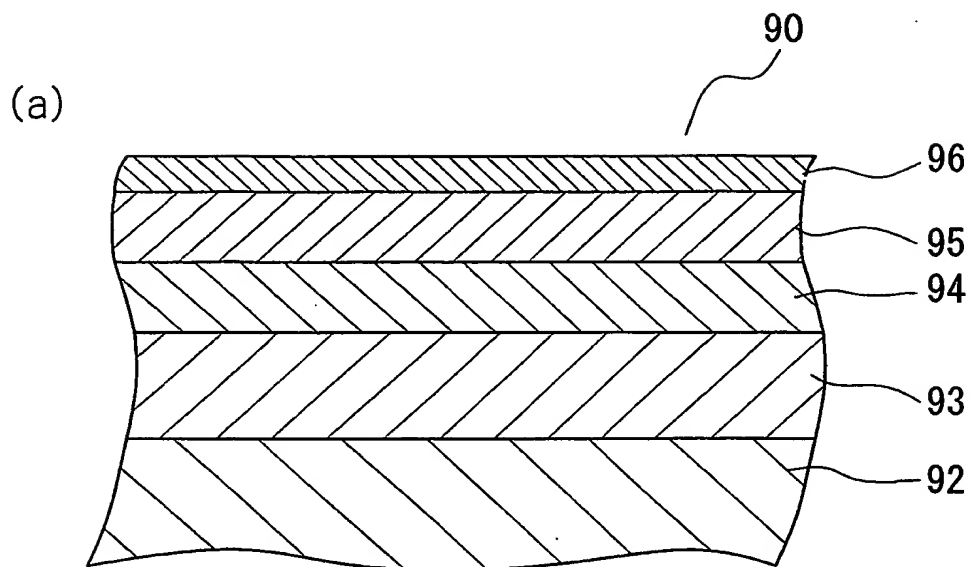
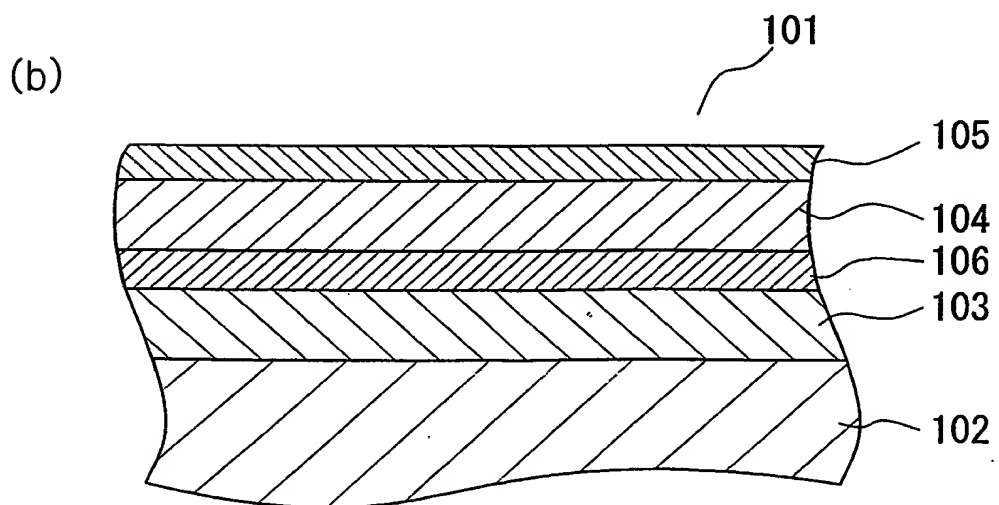
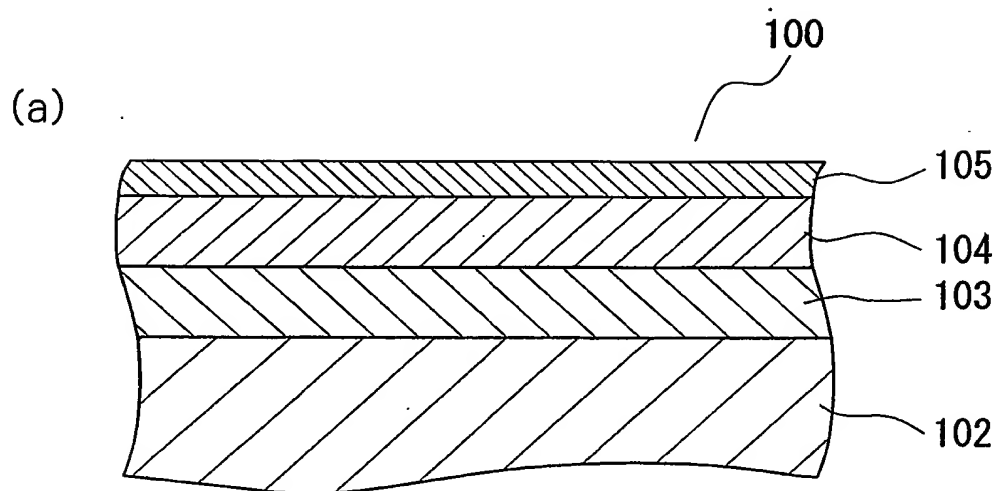




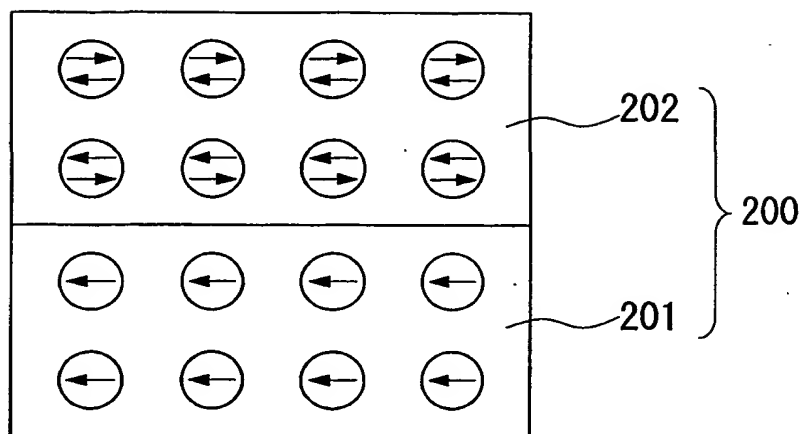
図 19



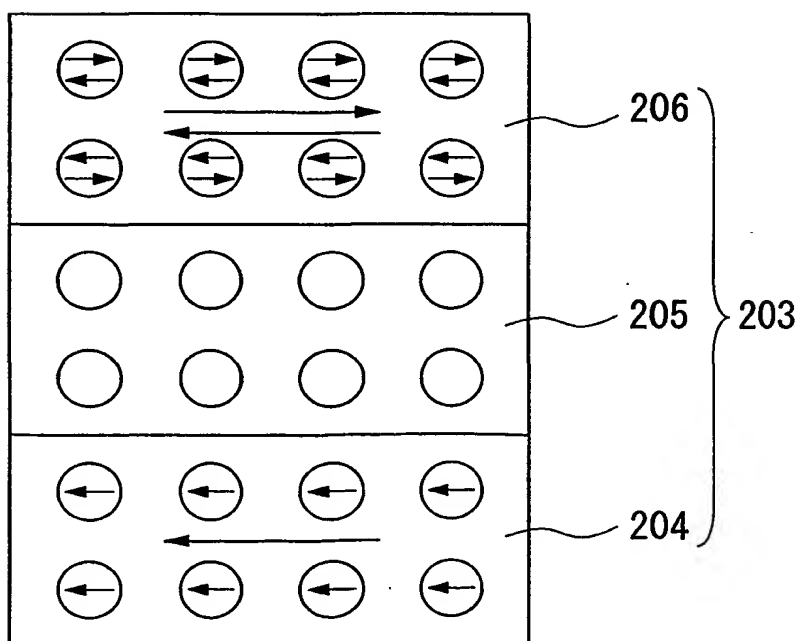
18/20

図 20

(a)



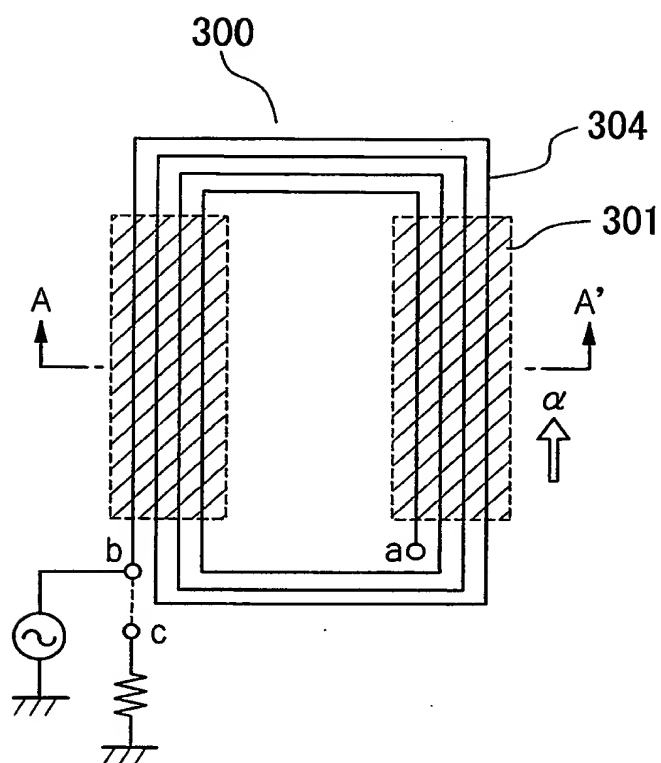
(b)



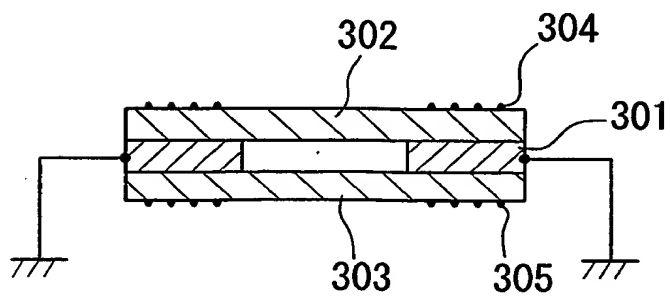
19/20

図 21

(a)



(b)



20/20

図 22

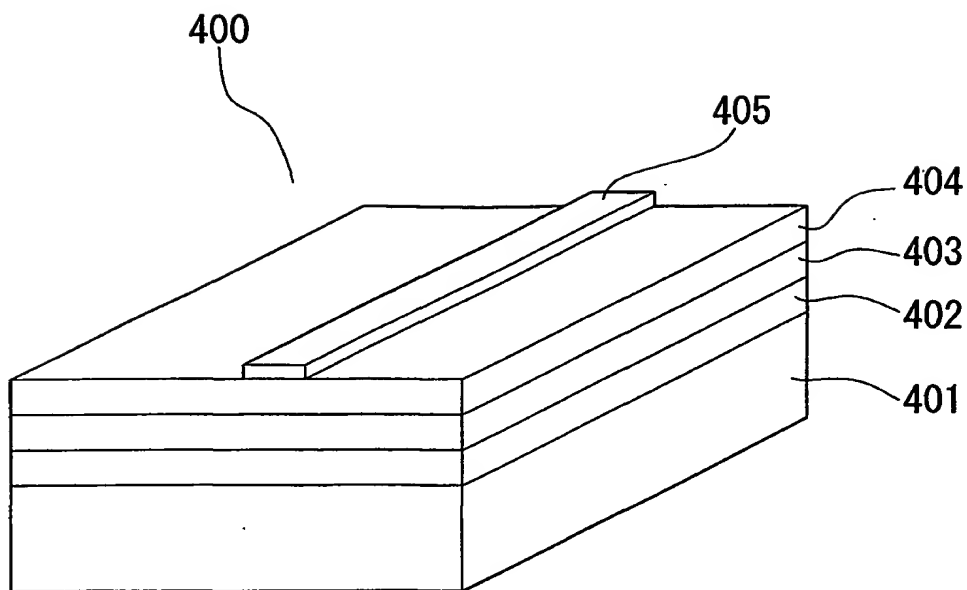
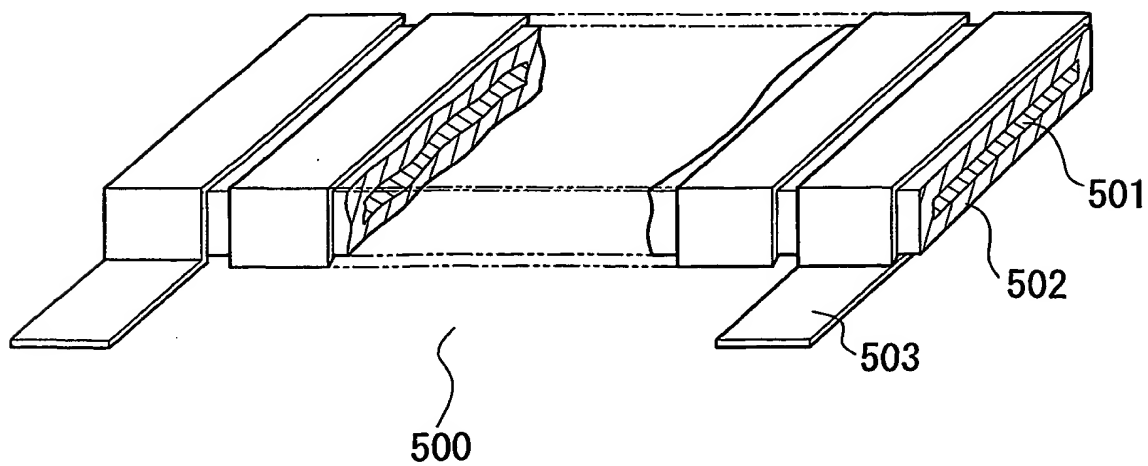


図 23



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/08167

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> HO1F 10/14, G11B 5/31, 5/667

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> HO1F 10/14, G11B 5/31, 5/667

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2000
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2000	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 11-186033, A (Hitachi, Ltd.), 09 July, 1999 (09.07.99), Claims (Family: none)	1-38

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
31 January, 2001 (31.01.01)Date of mailing of the international search report  
13 February, 2001 (13.02.01)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.